

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La fábrica de cemento el PUENTE se fundó el año 1988 durante la implementación de las políticas de desarrollo e industrialización de la corporación de desarrollo de Tarija (ex CODETAR).

A un inicio, sólo se procedió con la operación de molienda de Clinker, materia prima que fue importada de la república ARGENTINA.

En una segunda fase se inicia la explotación de la piedra caliza, materia prima indispensable para la producción de Clinker, siendo el primer lugar de explotación la cantera del HUAYCO, luego otras canteras como la del Salto, piedra caliza SM1 y SM2, cantera de arcilla, cantera de yeso, y actualmente la cantera de toba volcánica, con lo que se da inicio a las operaciones del chancado, molienda de crudo, proceso de cocción de polvo crudo, dando como resultado el Clinker, la molienda de cemento en circuito abierto y actualmente en circuito cerrado y finalmente el ensacado del cemento, dando como resultado final el completo funcionamiento del proceso y operación de la elaboración del cemento, el primer bloque de cemento producido fue el 25 de Abril de 1989. En esta fase se contaba con una chancadora, un molino de crudo, silos de almacenamiento de crudo, homogenización y cemento, filtros de purificación de polvos, ciclones, un horno FULLER de cocción de Clinker, un enfriador de Clinker, un laboratorio de pruebas físicas y un laboratorio de pruebas químicas.

El 29 de enero de 1997 por un proceso de privatización la Planta pasa a propiedad de la Sociedad Boliviana de Cemento Sociedad Anónima, SOBOCE S.A. luego en los años 2007 a 2008 se comienza con una nueva ampliación de obras civiles y nuevos equipos, como ser una chancadora II, un molino de crudo II, un horno de cocción de Clinker FLS con su torre de cuatro ciclones pre calentadores, y un molino de cemento nuevo CHANDER POWR WORK en fecha 23 de junio del 2006, toda esta ampliación se terminó en septiembre 2008, como en la misma fecha se inician las operaciones.

Actualmente la planta de cemento SOBOCE S.A. tiene una producción de 187919,64 toneladas de Clinker y una producción de 195706.29 toneladas de cemento en la

gestión 2009, siendo su principal mercado de consumo el departamento de Tarija, Potosí y regiones aledañas constituyéndose el principal proveedor de material de cemento de construcción.

1.2. LOCALIZACIÓN

La Planta de Cemento EL PUENTE SOBOCE S.A. se encuentra ubicada, a 110 kilómetros de la ciudad de Tarija en posición Noreste, en la capital de la segunda Sección de la provincia Méndez y está a una altura de 2250 metros sobre el nivel del mar.

Fotografía I. 1 VISTA GENERAL DE LA FÁBRICA DE CEMENTO EL PUENTE SOBOCE S.A.



Fuente: Elaboración propia.

1.3. OBJETIVOS

Los objetivos generales y específicos están basados en los requerimientos de una mayor producción y una mejor optimización de los procesos físicos y químicos de la

empresa de Cemento SOBOCE S.A. de acuerdo al área seleccionada para el proyecto de optimización de temperatura de la torre refrigerador acondicionador de gases calientes, dando como resultado un incremento de la producción de Clinker y una mejor operación de todos los equipos con que cuenta la línea de Clinkerización FLS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un proyecto para optimizar la temperatura de enfriamiento en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes orientado hacia el incremento de la productividad de Clinker en el horno FLS.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Realizar un diagnóstico técnico de las operaciones físicas actuales en la torre, refrigerador acondicionador de gases calientes procedentes del horno a través de la torre de ciclones pre calentadores.
- * Realizar el balance de masa y energía en el sistema de estudio.
- * Determinar la potencia de los ventiladores de aire frío para disminuir la temperatura actual de operación.
- * Optimizar las variables de operación del área en estudio.

1.4. JUSTIFICACIÓN

- * Al tener un incremento en la Producción de Clinker, permitirá en términos de rentabilidad económica mayores ingresos monetarios para SOBOCE S.A. puesto que el Clinker excedente se envía a la cementera WARNES de Santa Cruz para la molienda, como así tener disponible mayores reservas de Clinker y abastecer en forma regular al mercado nacional departamental y regional.
- * Actualmente por restricciones para el enfriamiento de los gases calientes en la torre de refrigeración no se puede incrementar la Producción de Clinker; por tanto la implementación de tres ventiladores de aire frío permitirá incrementar la producción, como así también una mejor relación estequiométrica en la combustión oxígeno - gas.

- * Permitirá trabajar con un mayor rango de temperaturas requeridas por debajo de la temperatura máxima de trabajo actual en el filtro de mangas 400FM01 y no cause daño de quemado de las mangas filtrantes o salga fuera de servicio toda la línea de producción FLS por este problema.

1.4.1. ALTERNATIVAS DE ENFRIAMIENTO EN LA TORRE REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES

Para la torre refrigerador acondicionador de gases calientes se tiene, tres alternativas de una mejor optimización de la temperatura; después de un análisis técnico, se elegirá la alternativa más ventajosa técnica y económicamente.

1.4.1.1. REFRIGERACIÓN CON AGUA POR ATOMIZACIÓN

Esta operación física consiste en inyectar una corriente de agua en los orificios de la parte superior de la campana circundante ver fotografía I.2, conforme va ingresando el agua en las lanzas se produce la nebulización al hacer contacto la corriente de gases calientes a temperatura de 315°C, con el agua fría a 20°C produciéndose el intercambio de calor y por consiguiente la disminución de la temperatura de los gases calientes; lo cual permite al filtro de manga 400FM01, trabajar por debajo de los 180°C que es su temperatura máxima operable, este tipo de enfriamiento es bueno pero tiene las siguientes desventajas:

- * El agua que se utiliza para enfriar no sólo en esta operación por atomización; sino también en, otras secciones y ductos, presenta un gran problema de dureza total que está entre 1800 ppm a 2000 ppm en contenido de sales totales, puesto que la principal fuente de provisión de agua es del pozo perforado en la planta, que al presentar una alta dureza provoca encostramiento en la pared interna de los ductos de la torre formando una capa impermeable, convirtiéndose en un aislador, lo cual da como consecuencia una disminución en la transferencia de calor de la corriente de gases calientes hacia la pared interna del ducto y hacia el exterior.
- * Este encostramiento produce taponamiento en la pared interna de entrada y salida del ventilador de Tiro Inducido 400VE14 reduciendo su capacidad de flujo de gases calientes provenientes desde el horno hacia el filtro de mangas 400FM01, lo

que implica que para operar en su capacidad requerida de succión de los gases calientes se deba aumentar la velocidad rotacional de giro, como consecuencia se requiere más energía eléctrica, mayor esfuerzo de trabajo mecánico del ventilador de tiro y un mantenimiento continuo, y finalmente se tiene que interrumpir la producción de Clinker hasta resolver este problema.

- * Al haber taponamiento en el ventilador 400VE14 se reduce el área de entrada de gases calientes al mismo, por lo que el ventilador de tiro tiene una menor capacidad de succión de los gases de combustión, una menor succión de aire secundario (aire principal de combustión) y para compensar esta reducción se tiene que aumentar la velocidad de giro prefijada, lo que da como consecuencia un aumento en la temperatura de los gases calientes a la entrada del filtro de mangas excediendo su temperatura permisible (180°C).
- * Para utilizar agua blanda (dureza total menor o igual a 100 ppm); la fuente más cercana es el río de Iscayachi lo cual se haría por medio de cisternas lo que implica un alto costo económico y el problema logístico de traslado debido a la distancia de 54 Km.

Fotografía I. 2 CAMPANA SUPERIOR DE ENTRADA DE LOS GASES CALIENTES A LA TORRE DE REFRIGERACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

1.4.1.2. REFRIGERACIÓN POR INYECCIÓN DE AIRE FRÍO EN LOS ORIFICIOS DE LA CAMPANA SUPERIOR

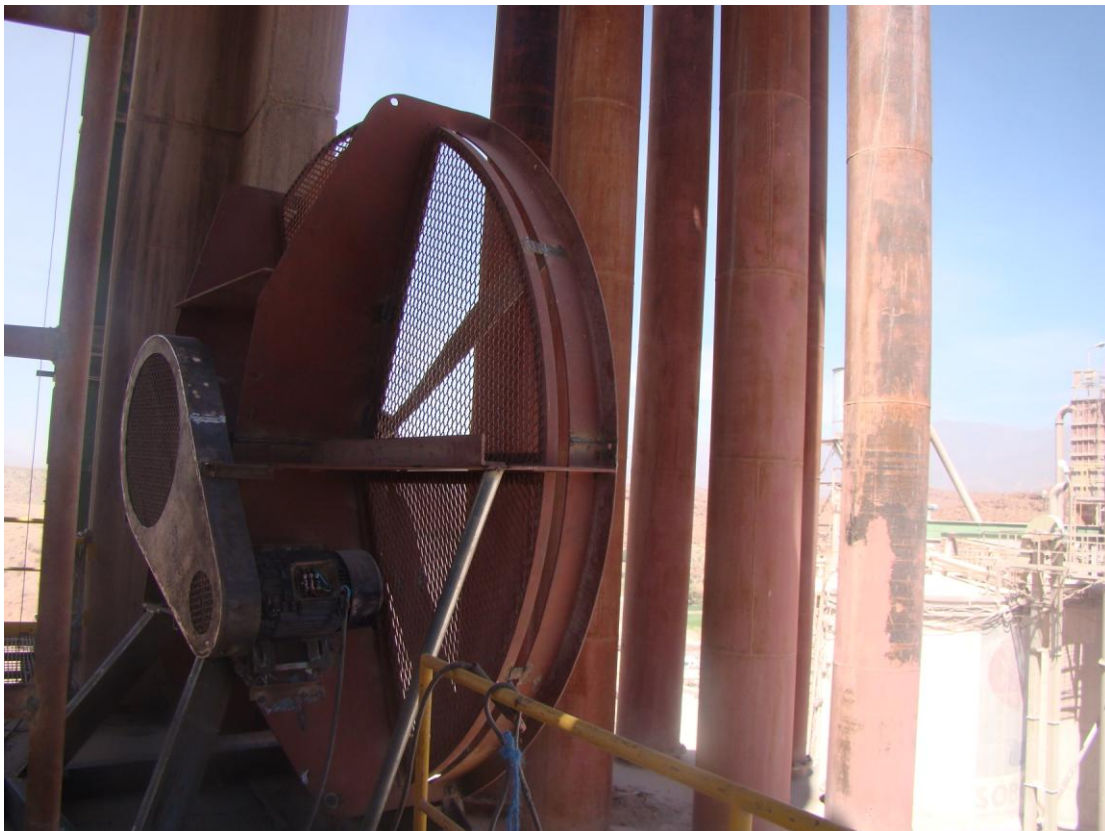
En este tipo de enfriamiento se inyecta una corriente de aire frío en los orificios de la parte superior de la campana de la torre de refrigeración, al igual que el agua produce el enfriamiento de los gases calientes por intercambio de calor.

La desventaja es que causa una elevada turbulencia, y lo que se quiere es evitar la turbulencia aumentando el volumen de flujo aire - gases calientes en el interior del ducto y se tenga que reducir el caudal de flujo de gases calientes provenientes de los ciclones.

1.4.1.3. REFRIGERACIÓN CON AIRE FRÍO POR FLUJO AXIAL EXTERNO

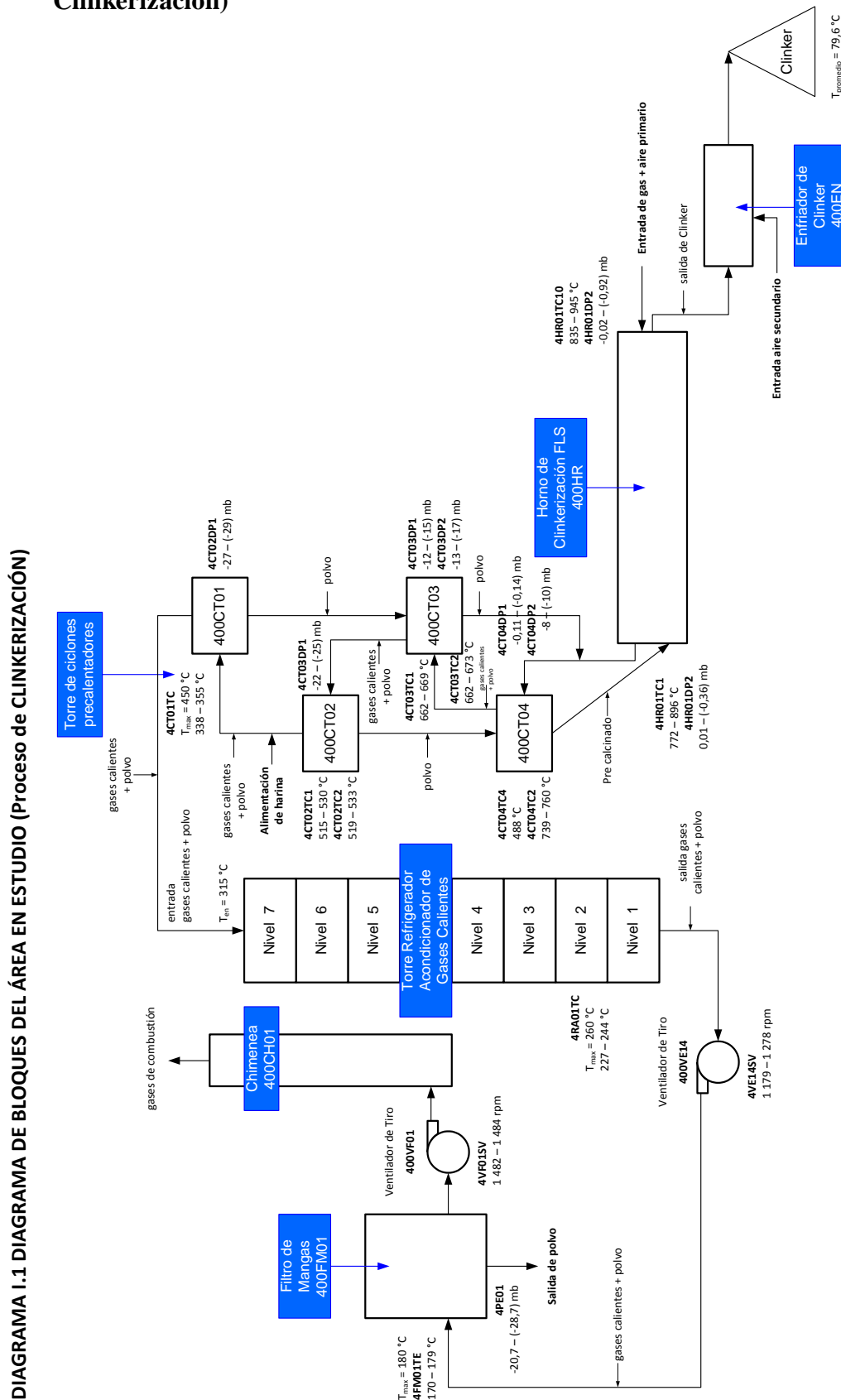
Este sistema consiste en inyectar una corriente de aire frío en dirección axial a los 8 ductos de la torre de refrigeración de gases calientes, en un área determinado de la cara externa de los 8 ductos para refrigerar la corriente de los gases calientes de la torre provenientes de la combustión del horno FLS mas el polvo fino proveniente de los ciclones; y permitiendo disminuir la temperatura de salida de los gases calientes de la torre de enfriamiento, la ventaja de este sistema de enfriamiento es que se cuenta con los materiales para ensamblar los 3 ventiladores de aire frío y la compra de los 3 motores, que permitirá en corto tiempo su implementación, como una valoración económica rentable, ya que al aumentar la producción de Clinker, la recuperación de lo invertido será en corto tiempo.

Fotografía I.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR VENTILADOR DE AIRE FRÍO DE FLUJO AXIAL



Fuente: Elaboración propia.

1.5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ÁREA EN ESTUDIO (Proceso de Clinkerización)



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II
DIAGNÓSTICO TÉCNICO

NOMENCLATURA

400FM01	Filtro de mangas.
4PE01	Depresión de salida de filtro de mangas.
400VF01	Ventilador de tiro inducido de filtro de mangas.
4VF01SV	Velocidad de rotación del ventilador de tiro inducido filtro de mangas.
4VF01DP	Depresión de salida de ventilador de tiro inducido de filtro de mangas.
400VE14	Ventilador de tiro inducido de gases calientes.
4VE14SV	Velocidad de rotación de ventilador de tiro inducido de gases calientes.
4VE14CTE	Corriente del motor de ventilador de tiro inducido de gases calientes.
4VE14SV	Velocidad de rotación de ventilador de tiro inducido de gases calientes.
4VE14CTE	Corriente del motor de ventilador de tiro inducido de gases calientes.
4RA01TC	Temperatura de salida del refrigerador de gases calientes.
400CT01	Ciclón 1.
4CT01TC	Temperatura de salida de ciclón 1.
4CT01DP	Depresión de salida de ciclón 1.
4CT02TC1	Temperatura de salida de ciclón 2.
4CT02TC2	Temperatura de entrada de ciclón.
4CT02DP	Depresión de salida de ciclón 2.
4CT03TC1	Temperatura de salida de ciclón 3.
4CT03TC2	Temperatura de entrada de ciclón 3.
4CT03DP1	Depresión de salida de ciclón 3.
4CT03DP2	Depresión de entrada de ciclón 3.
4CT04TC1	Temperatura de salida de ciclón 4.
4CT04TC2	Temperatura de entrada de ciclón 4.
4CT04DP1	Depresión de salida de ciclón 4.
4CT04DP2	Depresión de entrada de ciclón 4.
4HR01TC1	Temperatura de entrada al horno FLS.
4HR01DP1	Depresión de entrada al horno FLS.
4HR01TC10	Temperatura de salida de horno FLS.
4HR01DP2	Depresión de salida de horno FLS.
4TG01PR01	Presión de entrada de gas al horno.

400HR01	Motor de horno FLS.
4HR01CTE	Corriente del motor del horno FLS.
4HR01SV	Velocidad de rotación del motor de horno FLS.
400EN01	COOLER (enfriador de Clinker).
400CR01	Correa de transporte de Clinker de la cámara de enfriamiento de Clinker.
400VE06	Ventilador de aire de cámara1 de enfriamiento de Clinker.
400VE07	Ventilador de aire de camara2 de enfriamiento de Clinker.
400VE08	Ventilador de aire de camara3 de enfriamiento de Clinker.
400CH01	Chimenea de gases de horno FLS.
400TR01	Motor de trituradora de Clinker.
400CR02	Correa de transporte de Clinker a la playa de descarga.
ENT.	Entrada.
SAL.	Salida.
DEP.	Depresión.
VEL.	Velocidad.
VENT.	Ventilador.
Pref.	Prefijado.
REFRI.	Refrigeración.
T	Temperatura.
VIBRA.	Vibración.
V.	Ventilador.
ENTR.	Entrada.
FL.	Flujo.
AL.	Alimentación.
ACT.	Actual.
INT.	Interno.
TAN.	Tangencial.
EXT.	Externo.
APE.	Apertura.
P1	Presión 1.

P2	Presión 2.
P3	Presión 3.
CAP.	Capilla.
CORRI.	Corriente.
T EN.	Temperatura entrada
T SAL.	Temperatura salida
C1.	Cámara 1.
C2.	Cámara 2.
C3.	Cámara 3.
FLS	Horno de Clinkerización.
MPC	Millar de pies cúbicos.
TPD	Toneladas por día.
BAR	Unidad de presión
mb	Unidad de presión (mil milibares = 1Bar).
t	Tiempo (s)
Mp	Milipascales
µm	micra
TPD	Toneladas por día
t/d	Toneladas por día
MgO	Óxido de magnesio
CaO	Óxido de calcio
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
CaCO	Carbonato de calcio
MgCO	Carbonato de magnesio
t/h	Toneladas por hora

El diagnóstico técnico consiste en hacer un monitoreo de las variables de operación como ser: temperaturas, presiones, depresiones, velocidades de giro rotacional de los motores y equipos, en las diferentes secciones de la línea de producción de Clinker FLS.

También se hará un monitoreo de las temperaturas máximas y mínimas de operación.

2.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA PLANTA DE CEMENTO EL PUENTE SOBOCE S.A.

La topografía y el clima tienen las siguientes características:

2.1.1. CONDICIONES GEOGRÁFICAS

Topografía.- Es un suelo arcilloso e inestable con ondulaciones que van desde plano a picos de 50 metros de altura, con poca vegetación de estructura geológica de tipo sedimentaria.

2.1.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Clima.- El lugar presenta un clima seco con una humedad relativa que va desde 18% a 22%, con poca precipitación de lluvia que va desde noviembre hasta abril característico de los lugares semiáridos, tiene corrientes de aire que van desde cero km/s cuando amanece hasta el mediodía y pasado el mediodía los vientos llegan a un promedio 10 km/s y también alcanzan una velocidad de 20 km/s.

Tabla II.1 DATOS OBTENIDOS DE LAS CONDICIONES DEL CLIMA AMBIENTAL EN LA PLANTA SOBOCE S.A.

N° MEDICIÓN	TEMPERATURA °C	PRESIÓN mb	HUMEDAD %	VELOCIDAD DEL VIENTO Km/h
1	24,0	762	22	1,4
2	22,6	761	21	0,0
3	23,5	758	21	9,4
4	16,5	762	21	0,0
5	22,6	759	21	20,0
6	23,5	759	18	4,3
7	24,3	756	18	8,6
8	22,1	760	19	0,0
9	22,0	756	21	19,8
10	22,,	761	21	5,,
PROMEDIO	22,37	759	18	10,8

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. Junio del 2010.

2.2. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO 400VE14 DE GASES CALIENTES

Actualmente se trabaja con un ventilador de tiro inducido 400VE14 de gases calientes con una especificación técnica de operación, de potencia 315 KW, una corriente de 571 A, un voltaje de 380 V, una velocidad de giro rotacional de 1487 rpm. Este ventilador comienza a succionar el aire secundario (aire principal de combustión) desde la zona de enfriamiento del Clinker (COOLER400EN) y los gases de la combustión del quemador 4TG01PR01, el ventilador succiona los gases calientes generando la depresión en la entrada y salida del horno FLS, en la entrada y salida de los cuatro ciclones, y una vez que ingresan los gases calientes al ventilador este lo impulsa hasta el filtro colector de polvos(400FM01), saliendo los gases residuales limpios por la chimenea 400CH01.

Fotografía II.1 VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO 400VE14 DE GASES CALIENTES



Fuente: Elaboración propia.

2.3. CONDICIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS 400FM01

Fotografía II.2 FILTRO DE MANGAS 400FM01



Fuente: Elaboración propia.

Referencia Ver plano N°1 en anexos

2.3.1. TEMPERATURA DEL FILTRO DE MANGAS 400FM01

La temperatura máxima de entrada de gases calientes al filtro de mangas 400FM01 es de 180°C; por lo que se tiene que trabajar por debajo de esta temperatura que oscila entre 170°C a 179°C. Para controlar esta temperatura se tiene que disminuir la velocidad de rotación del ventilador de tiro 400VE14, lo cual representa un problema para alcanzar la producción de Clinker deseada (nominal de 400 TPD), cuando la temperatura sobrepasa los 180°C de ingreso al filtro de mangas, este sale fuera de servicio conjuntamente con el horno y como consecuencia se tiene que disminuir la carga de alimentación y por tanto disminuir la producción de Clinker del horno.

2.3.2. FILTRO COLECTOR DE GASES CALIENTES 400FMO1

El filtro de mangas es un dispositivo mecánico colector que permite atrapar el polvo fino de caliza y separar los gases calientes provenientes de la combustión, este dispositivo es uno de los más utilizados en la industria de cemento, el cual consiste de un cilindro metálico revestido de unas mangas que están fabricados de tejidos de fibra natural o sintética.

Los filtros de mangas pueden retener partículas inferiores 1um y por ello obtener rendimientos de hasta 99 % y pueden trabajar hasta temperaturas de 180C°, la característica es que el polvo va depositándose en las mangas hasta llenarse y luego viene la limpieza por inyección de aire a gran presión.

A través de las mangas circula los gases a filtrar, adhiriéndose a ellas las partículas que queremos que sean retenidas y sólo dejan pasar el gas limpio, en la cara exterior se va depositando el material hasta formar una capa, para realizar la limpieza se inyecta aire por la parte superior del filtro logrando que la manga se infle y las partículas caigan a una tolva colectora de polvo.

El filtro de mangas consta de un cuerpo dividido en dos secciones en paralelo una a la derecha y otra a la izquierda; cada sección contiene tres cuerpos haciendo un total de 6, en donde se colecta todo el polvo que transportan los gases calientes provenientes del ventilador de tiro, estos gases calientes ingresan a las dos secciones del filtro, el polvo se retiene en las mangas del filtro y los gases residuales excedentes de la combustión son eliminados por otro ventilador de tiro 400VF01 que los expulsa a la chimenea 400CH01.

El polvo colectado en las mangas de los filtros es retirado por una compresora de aire 4FM01DP mediante un pulmón, este polvo es transportado mediante sistema neumático (Air – Slider); finalmente, todo el polvo recuperado en el filtro es almacenado en el silo de homogenización (300SL01) con ayuda de los tornillos de transporte 400TS02, 400TS03 y 400TS04, y de aquí al silo de almacenamiento de donde vuelve a alimentar al proceso. Al filtro de mangas se inyecta aire fresco para mantener su temperatura por debajo de 180°C y seguir operando de manera normal.

TABLA II.2 DATOS DE OPERACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS 400FM01

N°	TEMP. ENT. FILTRO 4FM01E °C	PRES. ENT. FILTRO 4FM01P b	DEPRE. SALIDA FILTRO 4PE01 mb	APE. COMP. 4CG05 %	VENT. TIRO PREF. 400VF01 rpm	VENT. TIRO ACT. 4V015V rpm	TEMP. VENT. ENT. 400VFO1 °C	TEMP. VENT. SAL. 400VF01 °C	DEPRE. VENT. 400VF01 mb
1	170	7.7	-28	100	1500	1483	36	45	-2.7
2	170	7.5	-28	100	1500	1483	37	47	-3.1
3	175	7.6	-28	100	1500	1484	42	50	-2.7
4	174	7.4	-27.9	100	1500	1483	43	51	-2.8
5	171	7.5	-27.6	100	1500	1482	43	44	-3.1
6	172	7.4	-29	100	1500	1483	23	29	-3.5
7	171	7.2	-20.7	100	1500	1482	26	30	-3.7
8	173	7.4	-28.7	100	1500	1484	29	30	-3.4
9	172	7.3	-28.2	100	1500	1484	30	32	-3.4
10	173	7.6	-28.5	100	1500	1483	33	37	-3.2

Fuente: Central de control de horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Mayo del 2010.

2.3.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VENTILADOR DE TIRO DEL FILTRO DE MANGAS 400VF01

- Coeficiente inductivo $\cos \phi = 0,87$
- Voltaje = 380 V
- Frecuencia= 50 Hz
- Potencia= 250 Kw
- Corriente= 455 A
- Velocidad de rotación = 1 500 rpm

2.4. CONDICIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DEL REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES

2.4.1. TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES

La temperatura promedio de entrada al refrigerador acondicionador de gases calientes es 315°C y la depresión promedio de entrada es de -27mb . Como hay transferencia de calor a lo largo de la torre de refrigeración, la temperatura promedio de salida es de 237°C siendo la temperatura máxima de operación de salida 260°C . Cuando sobrepasa este límite sale fuera de servicio toda la producción de Clinker interrumpiéndose nuevamente la producción del horno, por tanto, se debe trabajar en un rango de temperatura de 170° a 179°C .

Fotografía II.3 ENTRADA AL ACONDICIONADOR REFRIGERADOR DE GASES CALIENTES



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía II.4 DUCTOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES CALIENTES

Fuente: Elaboración propia.

Referencia: Ver plano 2 en anexo

**Tabla II.3 DATOS OBTENIDOS DE MONITOREO DEL REFRIGERADOR
ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES**

DETALLE		CÓDIGO	N° DE MEDICIÓN									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T. ENT. REFRI.	°C	4CTO1TC0	346	348	340	345	344	346	342	348	343	341
P. ENT. REFRI.	mbar	4CT01DPO	-26	-27	-28	-29	-28	-27	-28	-27	-26	-27
T. ENT. FILTRO	°C		174	175	174	173	173	173	175	174	174	172
VEL. VIBRA.	mm/s	4VE14SE	2.2	2.1	1.9	3.2	2.8	2.5	2	1.7	1.9	1.6
V.TIRO PREFI.	rpm	400VE14	1290	1285	1285	1315	1295	1205	1295	1280	1270	1270
T. SAL. REFRI.	°C		244	234	235	227	236	239	236	241	241	244
CORRI. V.TIRO	A	4VE14CTE	402	414	415	427	432	413	420	4410	400	410
V.TIRO ACT.	rpm	4VE14	1273	1285	1268	1297	1278	1179	1280	1263	1254	1254
T. ENT. V. TIRO	°C	4VE14TC01	46	48	49	26	31	34	37	41	46	45
T.SAL. V. TIRO	°C	4VE14TC02	38	35	38	23	27	31	37	41	41	42

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Mayo del 2010.

2.5. TEMPERATURA DE CICLÓN 400CT01

Fotografía II.5 CICLÓN 400CT01



Fuente: Elaboración propia.

En la salida del primer ciclón se tiene un termocupla que marca la temperatura máxima de trabajo que es de 450 °C, si sobrepasa esta temperatura, sale fuera de servicio el horno y la producción de Clinker queda interrumpida hasta solucionar el problema, la temperatura de trabajo está entre 338°C a 349°C.

2.6. CONDICIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DE LOS CUATRO CICLONES PRE CALENTADORES 400CT01, 400CT02, 400CT03 Y 400CT04

Referencia: Ver planos N°3 en anexos.

Fotografía II.6 VISTA GENERAL DE LOS CUATRO CICLONES
INSTALADOS VERTICALMENTE



Fuente: Elaboración propia.

Los ciclones son tubos de forma cilíndrica, teniendo en su salida la forma de embudo, estando conectados en serie de cuatro en posición vertical, y tienen tres operaciones básicas, pre calentadores, sedimentadores e intercambiadores de calor.

Los cuatro ciclones pre calentadores están codificados como 400CT01, 400CT02, 400CT03 y 400CT04 se operan controlando los sensores de temperatura y depresión instalados en la entrada y salida de cada ciclón.

La harina cruda proveniente del silo de almacenamiento se almacena en una tolva de nivel constante (300TE01) por medio de una válvula rotativa (300VR03) hacia el elevador a cangilones (300EC02) por un transportador de harina Air - Slide. La harina cruda es alimentada a la torre pre calentadora (ciclones) por medio de un pesador automático de- nominado flujómetro (300VP01) que es el que registra las toneladas por hora alimentada al horno; esta harina es transportada por medio de transportadores Air - Slide hasta otro elevador a cangilones (400EC01) para finalmente depositarla en el Riser del ciclón 400CT02 con ayuda de un transportador si fin 400TS01 y una válvula rotativa 400VR01.

Los ciclones están dispuestos uno encima de otro para lograr una mejor separación de polvo fino del grano grueso, los ciclones están conectados por tuberías ascendentes de sección circular; el intercambio de calor se produce en los 4 ciclones por el flujo de corrientes contrarios de gases calientes que ascienden y el polvo crudo que baja. En las paredes de los ciclones con el pasar del tiempo se va formando una costra debido a factores de enfriamiento causado por filtramiento de aire por las uniones fisura, especialmente en el ciclón 400CT04, la eliminación de humedad puede llegar hasta un contenido de 8 % a 9 %.

Se elimina agua parcialmente al tener contacto ambas corrientes que ingresan en sentido contrario, esta operación se da en cada uno de los cuatro Riser y ciclones, la ventaja de esta operación es que ingresa la harina al horno con menor humedad, siendo la cocción de Clinker más adecuada y menor consumo de gas en la combustión.

2.6.1. SEDIMENTADOR DE PARTÍCULAS

Cuando ingresa la harina cruda al ciclón las partículas más pesadas chocan en la pared y por gravedad y velocidad radial descienden hacia la boca de salida, esto se repite en los cuatro ciclones hasta que finalmente ingresa al horno de cocción de Clinker, mientras que el polvo más fino y más liviano junto con los gases asciende

hacia la parte superior ingresando finalmente al ducto conectado a la torre de enfriamiento, entonces se puede decir que el ciclón tiene la operación de sedimentador porque separa el polvo más liviano y fino de la harina más pesada.

2.6.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR

La transferencia de calor en la torre pre calentadora se realiza en cada una de las etapas de los ciclones por contacto en contracorriente entre los gases calientes provenientes del horno en contra corriente al flujo de alimentación de harina cruda; esto significa que, a medida que ascienden los gases calientes al entrar en contacto con la harina fría que desciende se da la transferencia de calor. Cuando ingresa la harina cruda al ciclón entra a una temperatura menor de 50°C, esta corriente se mezcla con los gases calientes provenientes del horno, que sale a una temperatura de 750 a 880°C, al tener contacto estas dos corrientes contrarias hay una transferencia de calor, este proceso se verifica al obtener la temperatura de salida del primer ciclón de 338 a 355°C.

Tabla II.4 DATOS OBTENIDOS DE MONITOREO DE LOS CICLONES PRE
CALENTADORES 400CT01, 400CT02, 400CT03 Y 400CT04

DETALLE	CÓDIGO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T. ENT. CICLÓN 1	4CT01TC01	C°	345	355	349	343	346	341	343	346	338	340
P.ENT. CICLÓN 1	4CT01DP01	mb	-28	-27	-27	-27	-29	-29	-29	-28	-29	-29
T. ENT. CICLÓN 2	4CT02TC01	C°	522	530	521	519	522	517	518	521	515	516
T. SALIDA CICLÓN 2	4CT02TC02	C°	525	533	524	523	527	525	523	526	520	519
P. SALIDA CICLÓN 2	4CT02DP02	mb	-23	-22	-22	-22	-24	-23	-25	-24	-24	-22
T. ENTRA CICLÓN 3	4CT03TC02	C°	666	670	664	662	668	667	665	665	661	669
P.ENT. CICLÓN 3	4CT03DP02	mb	-13	-12	-13	-13	13	-13	-13	-15	-15	-12
T. SALIDA CICLÓN 3	4CT03TC02	C°	668	673	665	665	673	670	667	668	662	667
P. SALIDA CICLÓN 3	4CT03DP02	mb	-14	-13	-13	-13	-17	-17	-17	-17	-18	-17
T.ENT. CICLÓN 4	4CT04TC01	C°	488	488	487	488	470	472	474	475	479	480
P.ENT. CICLÓN 4	4CT04DP01	mb	-0.09	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12	-0.11	-0.13	-0.12	-0.13	-0.14
T. SALIDA CICLÓN 4	4CT04TC02	C°	739	742	744	742	760	759	758	758	756	755
P. SALIDA CICLÓN 4	4CT04DP02	mb	-9.56	-9	-9	-9	-9	-10	-9	-9	-9	-8

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Mayo del 2010.

2.7. CONDICIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DEL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS 400HR

Fotografía II.7 HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS 400HR



Fuente: Elaboración propia.

El horno de Clinkerización FLS 400HR es de tipo rotatorio y proceso por vía seca, y tiene como características de tener un control semiautomático de todas las variables de entrada y salida de temperatura, presión, depresión, velocidad de rotación del horno, alimentación de harina cruda; se controlan desde una computadora en la sala central FLS por el operador de turno.

Sus dimensiones son: largo 45 metros y diámetro de la virola 3.05 metros. El proceso de pre calentador comienza en los ciclones donde se elimina la humedad parcialmente y se pre calcina la harina cruda, y una vez que ingresa al horno se tiene las siguientes zonas: calcinación, zona de sinterización, la zona de Clinkerización y finalmente a la salida del horno esta la zona de enfriamiento de Clinker. El horno tiene una

producción de 370 - 390t/d; el horno tiene un enfriamiento externo con aire para proteger la Virola. El combustible utilizado para el proceso de combustión es el gas natural proveniente de una red principal de suministro que inyecta al quemador.

Las condiciones de operación son: alimentación de harina cruda promedio 25.96 t/h, temperatura promedio de entrada en la capilla 4HR01TC1 844°C, depresión promedio en la capilla de entrada 4HR01DP1 -0.095mb, capilla de salida 4HR01TC01 temperatura promedio 894°C, depresión promedio 4HR01DP2 -0.31 mb, presión de entrada del quemador de gas 3 mb.

La coloración de la llama del quemador es naranja brillante y con carácter oxidante; el color del Clinker es rosado con granos medianos, también se observa costra adheridos a los ladrillos refractarios.

En la capilla de entrada al horno se controla la entrada de aire falso, el cual ocasiona el desplazamiento del aire secundario proveniente del enfriador del Clinker, la presencia de aire falso implica que se debe calentar adicionalmente este aire, el cual ocasiona pérdida adicional de calor, para controlar este problema se dispone de dispositivos de cierre estanco.

2.7.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS

El horno FLS es un tubo cilíndrico de movimiento rotatorio de proceso por vía seca teniendo las siguientes especificaciones:

- Producción nominal, 400 t/d
- Longitud del horno, 45 m
- Diámetro de la virola, 3.05 m
- Diámetro interno, 2.69 m
- Velocidad nominal de rotación, 0.4 - 2.60 rpm
- Grado de llenado, 13.70 %
- Factor de polvo crudo Clinker, 1.62
- Inclinación del horno, 3%
- Cubierta interior de ladrillos refractarios:

Primer revestimiento, ladrillo aluminoso, 85%

Segundo revestimiento, ladrillo básico – magnesio

Tercer revestimiento, ladrillo aluminoso, 75%

Cuarto revestimiento, ladrillo aluminoso. 50- 65%

Quinto revestimiento. Concreto refractario

- Tres apoyos o anillos de rodadura (llantas)
- Temperatura de Clinkerización, 1450°C
- Temperatura máxima de combustión 1900°C
- Quemador a gas natural
- Enfriamiento externo de la virola con aire
- Flujo de aire primario y secundario

2.7.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR DEL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS 400HR01

- Coeficiente inductivo $\cos \phi = 0.87$
- Voltaje 380 V, instalación trifásica
- Frecuencia 50 Hz
- Potencia 90 kw
- Intensidad de corriente 166 A
- Velocidad de rotación 1481 rpm

Tabla II.5 DATOS DE VALORES ESPECÍFICOS DE ALIMENTACIÓN DE HARINA CRUDA AL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS 400HR01

ALIMENTACIÓN DE HARINA CRUDA	PRODUCCIÓN DE CLINKER	PRODUCCIÓN DE CLINKER	VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL HORNO	CONSUMO ESPECÍFICO DE GAS
t/h	t/h	t/d	rpm	MPC/t Clinker
29	17,9	430	1.72	71,6
28	17,3	415	1.66	69,7
27	16,7	400	1.6	66,7
26	16,0	385	1.54	64,2
25	15,4	370	1.48	61,7
24	14,8	356	1.42	59,3
23	14,2	341	1.36	56,8
22	13,6	326	1.30	54,3
21	13,0	311	1.24	51,9
20	12,3	296	1.19	49,4
19	11,7	281	1.13	46,9
18	11,1	267	1.07	44,4
17	10,5	252	1.01	42,0
16	9,9	237	0.95	39,5
15	9,3	222	0.89	37,0
14	8,6	207	0.83	34,6
13	8,0	193	0.77	32,1
12	7,4	178	0.71	29,6
11	6,8	163	0.65	27,2
10	6,2	148	0.59	24,7

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Junio del 2010.

2.7.3. ETAPAS DE PRODUCCIÓN DE CLINKER EN EL HORNO FLS

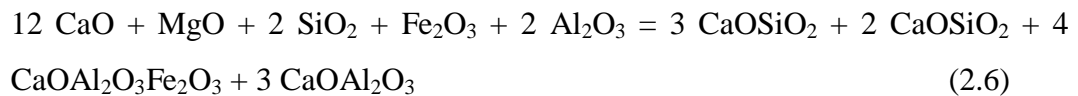
- El proceso comienza cuando se procede a bajar la alimentación de harina cruda desde el silo de almacenamiento hasta una tolva que tiene una balanza la cual pesa la alimentación de harina de entrada al horno, luego la harina es transportada por un ducto hasta un silo de donde es transportado por cangilones hasta la base del primer ciclón.
- En los cuatro ciclones solo se produce el proceso físico de eliminación de humedad y separación de partículas pequeñas de las más grandes.
- Zona de pre calcinación del horno esta zona comprende los primeros metros, aquí se elimina el agua y parcialmente se produce la des carbonatación.
- Zona de calcinación en esta zona se tiene la total des carbonatación produciéndose los óxidos en estado totalmente líquido rojo por la acción del calor y un gran desprendimiento de gases calientes.
- Reacción química de des carbonatación de la harina cruda de alimentación al horno:



- Zona de Sinterización; en esta zona se comienza a formar el mineral de Clinker y se sigue eliminando gases calientes.
- Zona de Clinkerización, en esta zona se tiene la formación de Clinker también se puede decir que aquí se produce el proceso de mineralización; en esta zona la temperatura óptima es de 1450°C, mientras que la llama del quemador puede llegar hasta 1900°C. Las características observadas son las siguientes:
- La coloración del Clinker es de un color rosado que es su coloración óptima y su forma va desde granulado, tamaño mediano y en menor cantidad en forma de polvo, a veces se forma bolón, en la parte de los ladrillos se forman anillos con

picos que son eliminados por el calor y la rotación, también se forma costra en la pared de los ladrillos, esta costra evita el desgaste de los ladrillos.

- Zona de enfriamiento, el Clinker todavía al rojo vivo cae al enfriador de placas móviles 400EN01 que es enfriado a lo largo de la línea de transporte. También se observa que el Clinker como producto final tiene la coloración verde gris y está constituido principalmente por silicatos cálcicos.
- Formación de Clinker:



2.7.4. QUEMADOR DE GAS 4TG01PR01

Fotografía II. 8 QUEMADOR DE GAS DEL HORNO FLS



Fuente: Elaboración propia.

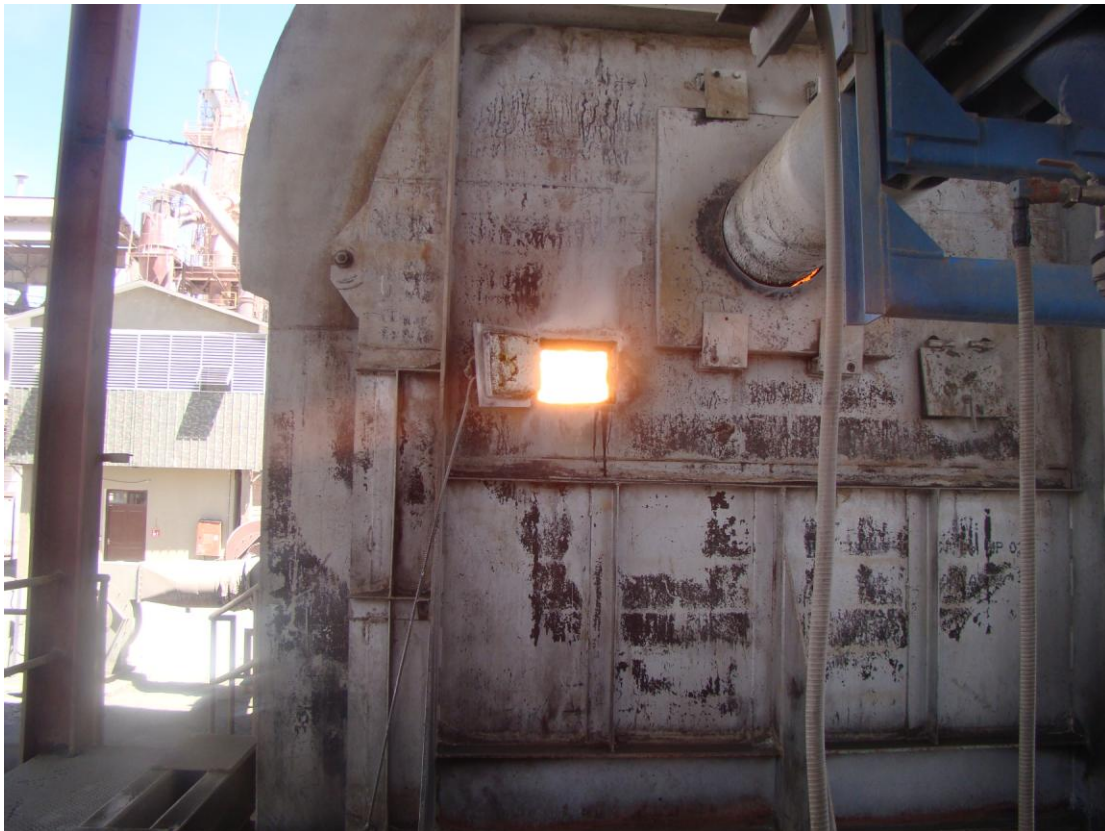
El quemador es una tobera de acero que es alimentado por gas natural como combustible orgánico y es regulado por una válvula de paso en porcentaje de

apertura, la tobera está asentada sobre un carril para extraer o introducir en la boca del horno, la llama es de una coloración naranja brillante intenso y debe evitarse que llegue a un color muy fuerte que puede sobre calcinar el Clinker y tener un peso/litro fuera de rango. Un color anaranjado opaco es una llama que no se puede calcinar adecuadamente el Clinker y como consecuencia da un Clinker de peso/litro bajo. En la llama se tienen dos zonas: la que está cerca de la boca del quemador como oxidante y la reductora que es la más alejada.

La posición del quemador tiene la misma inclinación del horno 3.13% es decir que tiene la misma alineación que el horno.

2.7.5. COMBUSTIÓN DEL HORNO FLS 400HR

Fotografía II.9 COMBUSTIÓN EN EL HORNO FLS



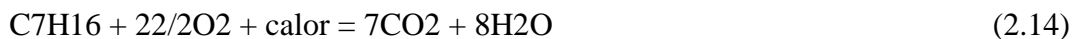
Fuente: Elaboración propia.

La combustión es la combinación en proporciones adecuadas del comburente gas, el oxígeno y el calor dando como resultado la llama, el aire se alimenta de dos fuentes:

una de aire primario que viene del ventilador400VE09, y el secundario que es el aire caliente que resulta de enfriar el Clinker en el COOLER (enfriador de Clinker).

- Aire externo, eleva el nivel global de turbulencia de la llama, de esta forma acorta la llama en condiciones de alta turbulencia y de alta temperatura del aire secundario porque en esta situación acelera la combustión, el aire externo promueve un aumento de las circulaciones externas y por tanto es importante para la mezcla de los flujos de aire primario y combustible con el aire secundario.
- Aire tangencial (radial), aumenta la participación de las componentes tangenciales en la llama, acelerando la mezcla del combustible con el aire primario a través de la circulación interna, así el aire tangencial es utilizado para ensanchar y acortar la llama.
- Aire interno (central), promueve una oxigenación en la raíz de la llama y aumenta los niveles de turbulencia interna de la llama.

Reacción química de combustión:



2.7.6. LADRILLOS REFRACTARIOS

Los ladrillos refractarios son un tipo de revestimiento interno del horno y tienen como objetivo general mantener la eficiente actividad calorífica del proceso de Clinkerización, pero también cumplen las siguientes funciones:

- Proteger la cara interna del horno y el desgaste prematuro de la virola por acción del calor, los ladrillos refractarios evitan el contacto directo del calor con la chapa.

- Disminuir la pérdida de calor por convección y radiación porque los ladrillos son buenos retenedores de calor.

Los ladrillos refractarios deben ser altamente resistentes a la temperatura de trabajo del horno que está entre 1400°C a 1500°C y capaz de resistir hasta 1790°C

En el horno de Clinkerización FLS se tiene los tres tipos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Fotografía II.10 VISTA GENERAL DEL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II.6 DATOS OBTENIDOS DE MONITOREO DEL HORNO DE CLINKERIZACIÓN FLS

DETALLE	CÓDIGO	UNIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AL.PREF.		T/h	26	25	25.2	26.4	25.8	26	26	27	26.2	26
AL.ACT.		T/h	25.8	25	25.2	25.7	25.8	26	26	27	26	26
F.AI.INT.		Kg/h	210	192	185	191	221	216	215	223	206	190
F.AI.TA.		Kg/h	495	488	482	476	498	489	482	485	470	461
F.AI.EX.		Kg/h	360	242	201	192	90	24	29	131	12	0.0
P1AI.EX.		mb	360	351	351	348	363	356	352	353	343	341
P2AI.TA.		mb	111	106	106	106	107	105	106	105	102	99
P3AI.IN.		mb	119	113	114	112	131	126	125	125	119	113
T.CAP.S.	4HR01TC0	C°	835	945	932	900	871	872	868	916	910	893
P.CAP.S.	4HR01DP0	mb	-0.05	-0.14	-0.26	-0.31	-0.31	-0.46	-0.41	-0.92	-0.56	-0.02
T.CAP.EN.	4HR01TC1	C°	875	875	875	880	772	795	808	896	831	836
P.CAP.EN.	4HR01DP0	mb	-0.36	-0.25	-0.05	-0.08	-0.04	-0.09	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03
AP.V.GA.		%	42	42	41	39	45	46	43	45	43	46
P.EN.Q.		mb	3	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3
VE. PREF.		rpm	1300	1155	1215	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
VE. ACTU.	4HRO01	rpm	1283	1158	1204	1198	1197	1194	1197	1197	1194	1197
CO.MOT.	4HR01CTE	Amp	74	93	79	83	71	1196	70	70	70	61
T1MOT	4HR01TC12	C°	27	45	46	47	41	38	41	37	45	46
T2MOT	4HR01TC13	C°	25	38	38	38	35	32	33	34	38	40
VE.VIB.		mm/s	2.7	2.3	2.5	2.2	2.2	2.5	2.1	2.3	2.5	2.2
VE.HOR.		rpm	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.62	1.6	1.6

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Junio del 2010.

2.8. CONDICIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE ENFRIAMIENTO DE CLINKER DE PLACAS MÓVILES (COOLER 400EN01)

El enfriador de Clinker es del tipo parrilla con placas móviles 4CE01, 4CE02 y 4CE03 las cuales tienen orificios por los cuales entra el aire frío por la parte inferior

de la cámara 1, 2, 3 de enfriamiento de Clinker. El aire frío es inyectado por tres ventiladores por la parte inferior de las placas, estos tres ventiladores de aire están con el código cámara 1 400VE06, cámara2 400VE07 y cámara3400VE08; el Clinker va saliendo hasta una trituradora 400TR01 la cual desmenuza desde dos pulgadas a una, de esta trituradora se transporta el Clinker frío (55 a 95°C) por la cadena transportadora 400CR02 hasta la playa de almacenamiento y de ahí al depósito de almacenamiento de Clinker.

Tabla II.7 DATOS OBTENIDOS DE MONITOREO EN EL ENFRIADOR DE CLINKER DE PLACAS MÓVILES 400EN01

DETALLE	CÓDIGO	Unidad	N° DE MEDICIÓN									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAM1	4EII01TC2	°C	17	23	28	29	40	41	17	22	31	23
P. ENT. CAM1	4EII01DP2	mb	11	12	9	9	9	13	10	9	8	9
T. ENT. CAM2	4EII01TC4	°C	12	17	22	25	31	34	14	19	26	18
P. ENT. CAM2	4EII01DP3	mb	11	11	9	8	9	12	10	9	8	9
T. ENT. CAM3	4EII01TC6	C°	13	18	22	25	33	36	13	19	27	17
P. ENT. CAM3	4EII01DP4	mb	4	5	3	4	4	5	4	4	3	3
V. AIR. C.1PRE	400VE06	rpm	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
CO.V.CAM1	4VE06CTE	A	66	66	64	64	63	64	66	65	64	64
VE.AIR. C.1ACT.	4V06SV	rpm	1492	1492	1492	1492	1492	1492	1492	1492	1492	1492
VE.AIR. C.2PRE.	400VE07	rpm	1450	1450	1450	1350	1450	1450	1450	1450	1450	1450
CORR. V.CAM2	4VE07CTE	A	88	86	86	76	83	83	88	86	84	88
VE. AIR. C.2ACT.	4VE07SV	rpm	1444	1443	1443	1343	1443	1443	1444	1443	1443	1443
VE. AIR. C.3PRE.	400VE08	rpm	1800	1800	1800	1400	1500	1500	1700	1700	1500	1500
CORR. V.CAM3	4VE08CTE	A	34	34	34	31	31	31	33	34	32	32
VE. AIR. C.3ACT.	4VE08SV	rpm	1778	1778	1778	1381	1480	1480	1679	1678	1481	1481

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Junio del 2010.

Tabla II.8 DATOS OBTENIDOS DE LA TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO DE CLINKER EN LA PLAYA DE DESCARGA DE LA CORREA TRANSPORTADORA

Nº MEDICIÓN	VEL. MOTOR DE PLACAS MÓVILES PREF. 400EN01 rpm	CORRIENTE MOTOR DE P. MÓVILES 4EII01CTE A	VEL. MOTOR DE PLACAS MÓVILES REAL 4EII01SV rpm	TEMPERATURA FINAL DE CLINKER EN PLAYA C°
1	950	6	959	94
2	950	6	959	91
3	950	6	959	86
4	900	6	907	89
5	900	5	907	86
6	900	5	907	95
7	750	5	757	51
8	750	6	756	55
9	800	5	808	86
10	850	7	859	63
PROMEDIO	870	5,7	877,8	79,6

Fuente: Central de Horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. Junio del 2010.

2.9. TABULACIÓN DE DATOS DE PRODUCCIÓN DE CLINKER Y CEMENTO GESTIÓN 2009

Todos los datos obtenidos como referencia para el diagnóstico técnico, dimensionamiento y análisis técnico, están tabulados en las siguientes tablas.

Tabla II.9 TABULACIÓN DE DATOS PRODUCCIÓN DE CLINKER Y CEMENTO GESTIÓN 2009

MES	CLINKER	CLINKER	CLINKER	CEMENTO PRODUCIDO
	HORNO FULLER (t)	HORNO FLS (t)	TOTAL (t)	CPW (t)
Abril-09	5565.93	9094.52	14660.45	11386.60
Mayo-09	5556.78	9781.74	15338.52	15974.13
Junio-09	5260.11	10015.14	15275.25	13206.30
Julio-09	5877.43	11583.56	17460.99	18969.32
Agosto-09	5716.60	11764.19	17480.79	16685.56
Septiembre-09	5578.50	11454.34	17032.84	18599.96
Octubre-09	5752.20	9982.89	15735.09	20443.90
Nviembre-09	3638.58	10155.88	13794.46	18032.51
Diciembre-09	5400.59	7542.53	12943.12	17673.92
Enero-10	5688.13	11469.17	17157.30	14690.67
Febrero-10	5110.46	10160.19	15270.65	14548.12
Marzo-10	5335.91	10434.27	15770.18	15495.20
TOTAL DE GESTIÓN (t)	64481.22	123438.42	187919.64	195706.29

Fuente: Departamento de estadística de EL PUENTE SOBOCE S.A. gestión 2009.

**Fotografía II.11 PLAYA DE ALMACENAMIENTO DE CLINKER
PRODUCIDO POR EL HORNO FLS**



Fuente: elaboración propia.

**2.10. TABULACIÓN DE DATOS DE CONSUMO DE GAS EN EL HORNO
FLS MAYO 2010**

El gas que se consume en la combustión para la cocción de Clinker en el horno FLS

Como el gasto en dinero se detalla en la siguiente tabla.

Tabla II.10 TABULACIÓN DE DATOS DE CONSUMO DE GAS EN EL HORNO FLS DEL DE MAYO

DÍA	TOTAL	CONSUMO	ALIMENTACIÓN DE HARINA	CLINKER PRODUCIDO	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA
DETALLE	MPC	HORNO (MPC)	TPD	TPD	KCAL/KG
1	1575	1575	649	391.08	998
2	1580	1589	642	386.96	1012
3	1564	1564	637	383.86	1010
4	1586	1586	625	376.39	1045
5	1594	1594	633	381.55	1036
6	1576	1576	652	392.49	995
7	1590	1590	643	387.29	1018
8	1598	1598	648	390.52	1014
9	1568	1568	645	388.52	1000
10	693	693	276	166.30	1033
11	1056	1056	282	170.03	1540
12	1499	1499	634	381.63	974
13	1558	1558	636	382.85	1009
14	1571	1571	657	395.55	985
15	1564	1564	652	392.61	987
16	1579	1579	651	391.94	999
17	1561	1561	670	403.82	958
18	1571	1571	650	391.41	995
19	1596	1596	645	388.46	1018
20	1578	1578	649	390.88	1001
21	1570	1570	667	401.96	968
22	1457	1457	597	359.93	1003
23	1570	1570	661	401.34	970

Fuente: laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. Mayo del 2010.

Tabla II.10 Continuación

DÍA	TOTAL	CONSUMO	ALIMENTACIÓN DE HARINA	CLINKER PRODUCIDO	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA
DETALLE	MPC	HORNO (MPC)	TPD	TPD	KCAL/KG
24	1565	1565	668	402.25	964
25	1529	1529	634	381.92	992
26	1565	1565	687	413.68	938
27	1581	1581	694	418.36	937
28	1571	1571	674	406.09	959
29	1238	1238	479	288.41	1064
30	1587	1587	662	398.89	986
31	1061	1061	417	251.01	1048
TOTAL GAS CONSUMIDO (MPC)	46351.00	46351.00	19020	11458	1003
PRESUPUESTADO (MPC)	26460.00	26460.00	-	370	-
PORCENTAJE	-	-	-	MAX	1540
FACTURACIÓN	-	-	-	MIN	937
VOL. CORREGIDO PRESUPUESTADO (MPC)	-	26460.00	-	-	-
FACTURACIÓN PRESUPUESTADA(\$ US)	-	39690	-	PROM	1015
VOL. CORREGIDO CONSUMIDO PARA MARZO (MPC)	-	46351	-	-	-

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. Mayo del 2010.

2.11. LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS

En el laboratorio de pruebas físicas se hace básicamente las pruebas de permeabilidad o finura prueba de compresión y determinación de peso específico de Clinker.

2.11.1. DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO DE CLINKER

Fecha: 22/07/2009

Procedimiento:

- * Se toma una muestra de Clinker cada hora en la playa de salida del Clinker FLS para el control del peso específico.
- * El envase de un litro de capacidad.
- * El rango de peso específico debe estar entre 1100 g/l a 1350 g/l
- * Se pesa el envase de aluminio para horno FLS dando 1342 g/l
- * Se tamiza el Clinker a pesar primero en malla N° 3/8 pulg y luego en malla 5/16 pulg el Clinker retenido en esta malla se toma y se llena el envase hasta el ras y se lleva al laboratorio para pesar.

Peso Clinker + peso envase = 2 664 g

Peso envase = 1 342 g

Peso específico del Clinker = 1 322 g/l

Tabla II.11 DATOS OBTENIDOS DE PESO ESPECÍFICO DE CLINKER
22/07/2009

HORA	HORNO FLS (g/l)
8:00	1316
9:00	1308
10:00	1322
11:00	1285
12:00	1103
13:00	1206
14:00	1330
15:00	1325
16:00	1316

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

2.11.2. DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD BLAINE (FINURA) DE CEMENTO

La finura del cemento es medido como la superficie específica mediante la observación del tiempo que tarda una cantidad fija de aire que pasa a través de una capa compacta de cemento de dimensiones y porosidad específicas.

La superficie es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo \sqrt{t} donde t es el tiempo necesario para que una cantidad de aire pueda atravesar la pastilla en estudio de cemento.

Datos obtenidos en la prueba Blaine:

Tipo de cemento IP-40

Muestra tomada = 2,7349 g

Se coloca la muestra en un tubo y se procede a hacer y se comprime la misma, se procede a tomar los datos del manómetro Vicat dando:

$$t = 139 \text{ s}$$

Reemplazando el dato obtenido en raíz cuadrada se tiene:

$$\sqrt{139} = 11,7898 \text{ s}$$

$$\text{Blaine} = 11,7898 * 451,48$$

$$\text{Blaine} = 5\,322 \text{ g/cm}^2$$

Tabla II.12 DATOS OBTENIDOS DE PERMEABILIDAD DE CEMENTO IP-40
22/07/2009

HORA	BLAINE g/cm
8:00	5007
9:00	5027
10:00	5323
11:00	5265
12:00	5048
13:00	5265
14:00	5265
15:00	5187
16:00	5226

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

Para determinar la permeabilidad Blaine de cemento IP-30 se sigue el mismo procedimiento que se hizo para el cemento IP-40.

2.11.3. PRUEBA DE RECHAZO DE CEMENTO IP-30 Y IP-40 EN MALLA 325

Procedimiento:

- * Se toma una muestra de cemento IP-40 en un envase herméticamente cerrado.
- * Se pesa 1gr de la muestra de cemento IP-40.
- * Se vacía la muestra pesada en un envase de malla 325.
- * Se lava la muestra de cemento agitando el envase a presión de 10 psig, se lleva a la estufa para secar luego se procede a sacar el residuo con espátula y escobilla y se procede a pesar dando:

Peso de muestra residual = 0,052 g

Factor de rechazo = 177,27

% de rechazo = 0,052 * 177,27

% de rechazo = 9,32

- * Rango de rechazo hasta un 11%
- * Se toma una muestra de cemento IP-30.
- * Se pesa 1 gr de cemento IP-30.
- * Se vacía en un envase de malla 325.

$$\text{Factor de rechazo} = 163,29$$

- * Se lava la muestra con agua a una presión de 10psig y se lleva a la estufa para secado y se procede a pesar dando:

$$\text{Peso de muestra residual} = 0,088 \text{ g}$$

$$\% \text{ de rechazo} = 0,088 * 163,29$$

$$\% \text{ de rechazo} = 14,36$$

Cuando el rechazo es mayor al rango permitido (12 – 15%) se procede a tener más tiempo de molturación en el molino de cemento de circuito cerrado.

En la tabla siguiente se tiene tabulación de datos obtenidos en el laboratorio de pruebas físicas de permeabilidad Blaine, pruebas de rechazo en malla y pruebas de resistencia física.

Tabla II.13 DATOS OBTENIDOS DE CEMENTO IP-30 EN BASE A PRUEBAS FÍSICAS DE RESISTENCIA Marzo del 2010

FECHA	200M	325M	BLAINE	COMPRESIÓN 1 Día (MPa)	COMPRESIÓN 3 días (MPa)	COMPRESIÓN 7 días (MPa)	COMPRESIÓN 28 días (MPa)
1-4-10	1.62	13.78	4250	8.18	17.26	24.17	34.03
5-4-10	2.34	-	4383	9.20	19.04	25.83	33.26
7-4-10	2.23	12.99	4295	8.69	19.16	25.01	33.64
8-4-10	3.17	15.57	4065	8.10	16.39	24.40	32.43
12-4-10	2.96	14.32	4181	8.14	18.49	24.85	33.16
13-4-10	2.83	14.25	4158	9.04	18.51	26.14	33.83
14-4-10	2.51	15.19	4534	9.40	18.55	23.96	31.89
15-4-10	2.19	13.16	4513	10.07	19.39	27.94	35.38
16-4-10	2.21	11.14	4597	10.82	19.18	27.39	34.31
19-4-10	3.53	16.11	4272	9.16	17.72	25.33	32.22
20-4-10	2.58	13.89	4295	9.91	18.43	24.35	32.80
21-4-10	2.67	13.56	4158	8.73	17.42	23.14	31.59
22-4-10	2.18	13.76	4317	7.78	15.13	20.83	31.45
23-4-10	1.84	11.99	4470	9.16	17.72	22.96	31.72
24-4-10	2.20	14.05	4181	8.81	16.54	21.83	32.00
25-4-10	1.84	11.99	4470	8.81	16.99	23.40	30.77
26-4-10	2.09	13.35	4317	7.98	15.04	22.83	32.89
27-4-10	2.30	15.42	4449	8.49	16.29	20.90	32.69
28-4-10	1.29	10.11	5035	11.13	18.66	23.10	30.18
29-4-10	1.86	13.97	4470	9.00	15.41	20.02	30.95
30-4-10	2.52	17.10	4204	7.58	15.81	21.87	31.89
2-5-10	3.23	19.72	4017	8.18	16.29	21.14	32.96
3-5-10	2.05	12.93	4317	9.40	16.09	20.70	30.56
4-5-10	1.71	12.43	4272	8.85	16.05	20.64	30.88

Fuente: Laboratorio de pruebas físicas de EL PUENTE SOBOCE S.A.

Tabla II.13 Continuación

FECHA	200M	325M	BLAINE	COMPRESIÓN 1 Día (MPa)	COMPRESIÓN 3 días (MPa)	COMPRESIÓN 7 días (MPa)	COMPRESIÓN 28 días (MPa)
5-5-10	2.12	14.51	4112	9.24	18.37	25.05	34.56
6-5-10	1.75	13.50	4135	8.61	17.59	25.23	31.91
7-5-10	1.46	10.05	4680	11.33	20.74	26.49	37.09
8-5-10	1.65	13.04	4250	8.81	18.66	25.78	34.47
10-5-10	2.02	14,63	4204	9.20	18.29	23.99	0.00
11-5-10	2.14	14.23	412	8.25	19.34	24.57	0.00
12-5-10	2.05	15.07	3896	9.12	20.64	27.57	0.00
13-5-10	1.92	14.94	3945	10.66	21.23	27.56	0.00
14-5-10	1.76	12.06	4317	11.55	22,12	26.98	0.00
15-5-10	1.64	12.17	4317	10.62	20.62	27.43	0.00
17-5-10	1.52	13,58	4405	9.32	18.39	24.87	0.00
18-5-10	1.58	11.38	4513	11.17	20.66	26.73	0.00
19-5-10	1.16	11.18	4576	10.70	21.60	26.24	0.00
20-5-10	1.90	14.63	4041	11.29	20.85	25.77	0.00
21-5-10	2.09	15.43	4204	10.11	18.86	24.09	0.00
22-5-10	1.84	15.36	4227	9.24	17.87	25.33	0.00
24-5-10	1.21	10.89	4383	9.91	19.49	24.93	0.00
25-5-10	1.40	13.10	4427	9.52	18.64	23.66	0.00
26-5-10	1.21	11.50	4427	11.56	22.37	26.52	0.00
27-5-10	1.67	12.94	4339	11.21	20.64	25.54	0.00
28-5-10	1.40	10.91	4295	9.91	18.27	24.04	0.00
31-5-10	1.57	12.95	4158	9.75	19.04	0.00	0.00

Fuente: Laboratorio de pruebas físicas de EL PUENTE SOBOCE S.A.

2.12. LABORATORIO DE PRUEBAS QUÍMICAS

Aquí se hace básicamente las pruebas de análisis de materias primas. Caliza del huayco SMI Y SMII; Caliza del SALTO SMI Y SMII, Arcilla, mineral de Hierro; análisis de Clinker , de CEMENTO IP30, CEMENTO IP40, Yeso, Toba Volcánica, HOMO, análisis de harina de entrada al horno FLS, perdidas por fusión y análisis de oxígeno falso.

2.12.1. ANÁLISIS QUÍMICO XRF DE HOMO I

- * Se toma una muestra de HOMO del silo de homogenización en un envase y se tapa herméticamente y se lleva al laboratorio para análisis.
- * De la muestra tomada se pesa 15 g de HOMO
- * Se pone la muestra pesada en un recipiente para moler por un tiempo de dos minutos.
- * Se lleva la muestra molida a la prensa hasta quedar en forma de pastilla, luego se pone en un recipiente de análisis.
- * La muestra se lleva al analizador químico XRF digital, donde permanece por un tiempo de cinco minutos y se lee los resultados en la pantalla.

Tabla II.14 DATOS OBTENIDOS CON ANALIZADOR QUÍMICO XRF DE HOMO I

COMPONENTE	% PESO	UNIDAD
MgO	2,022	Wt %
SiO	13,837	Wt %
CaO	41,173	Wt %
Fe ₂ O ₃	2,350	Wt %

Fuente: laboratorio de pruebas Químicas EL PUENTE SOBOCE S.A. 24/04/2009.

2.12.2. ANÁLISIS QUÍMICO XRF DE TOBA MOLTURADA

Peso de muestra de toba = 15 g

Tabla II.15 DATOS OBTENIDOS CON ANALIZADOR QUÍMICO XRF DE TOBA

COMPONENTE	% PESO	UNIDAD	TENSIÓN (cps)
MgO	1,750	Wt %	55,0
Al ₂ O ₃	9,655	Wt %	13986,0
SiO ₂	59,011	Wt %	28950,7
SO ₃	0,473	Wt %	42,0
CaO	10,627	Wt %	3483,3
Fe ₂ O ₃	2,960	Wt %	10206,8

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. 22/07/2009.

2.12.3. ANÁLISIS QUÍMICO XRF DE HARINA DE ENTRADA AL HORNO FLS

Peso de harina cruda = 15,5 g

Tabla II.16 DATOS OBTENIDOS CON ANALIZADOR QUÍMICO XRF DE HARINA CRUDA DE ENTRADA AL HORNO FLS

COMPONENTE	% PESO	UNIDAD
MgO	2,550	% m/m
Al ₂ O ₃	3,757	% m/m
SiO ₂	13,573	% m/m
SO ₃	0,399	% m/m
CaO	41,190	% m/m
Fe ₂ O ₃	2,392	% m/m

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. 22/07/2009.

2.13. TABULACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICO XRF DE CEMENTO IP-30

Se toma una muestra = 15,5 g

Tabla II.17 DATOS OBTENIDOS CON ANALIZADOR QUÍMICO XRF DE CEMENTO IP-30

COMPONENTE	% EN PESO
PPF	3,97
SiO ₂	31,82
Al ₂ O ₃	5,02
Fe ₂ O ₃	2,91
CaO	50,33
MgO	2,20
SO ₃	1,95

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A. Julio del 2009.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

NOMENCLATURA

Q	Transferencia de calor.
Q_{total}	Calor total.
Q_{conv}	Transferencia de calor por convección.
Q_{con}	Transferencia de calor por conducción.
Q_{rad}	Transferencia de calor por radiación.
Q_{total1}	Transferencia de calor total1 por convección forzada.
$Q_{conv\ forzada1}$	Transferencia de calor por convección forzada1.
$Q_{con\ forzada1}$	Transferencia de calor por conducción forzada1.
$Q_{rad\ forzada1}$	Transferencia de calor por radiación por enfriamiento con aire.
w	Unidad de watt.
Kw	Unidad de kilowatt.
Kw/h	kilowatt hora.
k	Transmisión de calor.
ΔT_1	Gradiente de temperatura1.
T_{en}	Temperatura de entrada de gases calientes a la torre.
T_{sa}	Temperatura de salida de gases calientes de la torre.
T_{in}	Temperatura interna de los gases calientes.
ΔT_2	Gradiente de temperatura 2.
T_{en1}	Temperatura de entrada1 de gases calientes a la torre.
T_{sa1}	Temperatura de salida1 de gases calientes de la torre.
T_{in1}	Temperatura interna1 de gases calientes.
T_{amb}	Temperatura ambiente.
T_{amb1}	Temperatura ambiente1 del aire frío a 20°C proporcionado por ventilador.

ΔX	Espesor del cilindro del ducto.
A	Área total de los 8 ductos.
h	Coefficiente de transmisión de calor.
B	Constante de proporcionalidad de Boltzman.
P	Potencia del ventilador.
q	Flujo volumétrico de aire de salida del ventilador.
K	Coefficiente de compresibilidad.
A_{total}	Área total de los 8 ductos de la torre.
A	Alimentación de harina cruda al sistema ciclón – horno.
B	Gases calientes + polvo (que sale de la torre pre calentador).
C	Salida de Clinker del horno FLS.
MPC/t m	Millar de pies cúbicos por tonelada métrica

3.1. TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor de una corriente de gases calientes y polvo fino de harina, están a una temperatura de entrada de, 315°C, esta corriente de gases al hacer contacto con la pared del ducto transfiere energía en forma de calor la cual atraviesa el espesor de la pared y finalmente al medio ambiente, entonces para tener el enfriamiento requerido se inyecta una corriente de aire frío desde el exterior en dirección axial al flujo de gases caliente en un área determinado de la pared externa de los ductos, este aire es proporcionado por un ventilador.

A este tipo de transferencia de calor se conoce como convección forzada, es necesario hacer los análisis teóricos y prácticos en la torre de enfriamiento y sus alrededores.

3.2. FORMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

- **Calor por conducción**, esta forma de calor se da cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo. Decimos que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura. (Holman pag.18)

$$Q = -K A \Delta T / \Delta X \quad (3.1)$$

- **Calor por convección**, cuando una placa de metal caliente se expone al aire en reposo decimos que el calor se disipó por convección y llamamos al proceso transferencia de calor por convección, entonces decimos que la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el fluido, y el área de superficie A. (Holman pag.29)

$$Q = h A \Delta T \quad (3.2)$$

- **Calor por radiación**, la radiación electromagnética que es propagada como resultado de una diferencia de temperatura.

$$Q = \epsilon A (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.3)$$

3.3. RÉGIMEN DE FLUJO

La velocidad de flujo de la corriente de polvo fino y gases va en dirección paralela a la pared del ducto y no existe flujo perpendicular en dirección de la corriente, por lo tanto se considera como flujo laminar circundante y se tomará como referencia los principios de enfriamiento de Newton.

3.4. TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA

La forma de transferencia de calor por convección forzada se da cuando la corriente de gases calientes en el interior del ducto refrigerador acelera la transferencia de calor en el espesor del cilindro y disminuyendo el gradiente de temperatura pero aumenta considerablemente el coeficiente de transferencia de calor, este efecto es causado porque desde el exterior se está inyectando una corriente de aire axial por un ventilador.

3.5. BALANCE DE MASA

3.5.1. DATOS DE REFERENCIA PARA HACER EL BALANCE DE MASA EN EL SISTEMA CICLÓN - HORNO

Datos tomados de tabla II.10

Valor máximo de alimentación al horno FLS = 694 t/d

Valor máximo de producción de Clinker = 418,36 t/d

Eficiencia = X

Correlación de datos para conocer la eficiencia:

694 t/d _____ 100%

418,36 t/d _____ X

X = 60%

Para hacer el balance de masa es necesario tener los siguientes datos:

- Eficiencia de la torre pre calentador 60 %
- Alimentación de harina cruda 694 t/d, 28 t/h

- Consumo de gas 4,21 MPC/t m
- Análisis químico de harina cruda en la entrada al horno
- Análisis químico de Clinker producido
- Análisis químico de polvo a la salida del primer ciclón

Tabla III.1 HARINA DE ENTRADA AL HORNO FLS ANÁLISIS - QUÍMICO
EN % (p/p) DE FECHA: 1 AL 31 DE MAYO DEL 2010

FECHA	PPF	Si O ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CO ₃ ⁼ total
1-mayo	35.53	13.57	3.81	2.41	41.17	2.57	0.47	76.78
2-mayo	35.60	13.57	3.92	2.38	41.14	2.55	0.49	77.34
3-mayo	35.77	13.45	3.84	2.37	41.24	2.56	0.47	77.52
4-mayo	35.51	13.49	3.82	2.40	41.23	2.56	0.45	77.32
5-mayo	35.53	13.49	3.88	2.42	41.22	2.55	0.45	76.84
6-mayo	35.62	13.59	3.97	2.42	41.22	2.55	0.49	77.16
7-mayo	35.39	13.59	3.92	2.41	41.22	2.55	0.51	76.94
8-mayo	35.46	13.55	3.95	2.44	41.26	2.56	0.46	77.16
9-mayo	35.27	13.63	4.07	2.44	41.13	2.55	0.46	76.64
10-mayo	35.38	13.48	3.91	2.41	41.22	2.55	0.46	76.80
11-mayo	35.49	13.52	3.83	2.37	41.22	2.55	0.46	77.36
12-mayo	35.55	13.52	3.75	2.34	41.15	2.58	0.49	77.68
13-mayo	35.64	13.52	3.84	2.37	41.23	2.56	0.47	77.28
14-mayo	35.61	13.56	3,78	2.37	41.17	2.56	0.49	77.30
15-mayo	35.33	13.51	3.68	2.39	41.30	2.58	0.46	77.00
16-mayo	35.16	13.47	3.74	2.46	41.16	2.56	0.54	76.94
17-mayo	35.27	13.52	3.72	2.56	41.28	2.56	0.53	77.24
18-mayo	35.42	13.53	3.82	2.42	41.21	2.56	0.55	77.64

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

Tabla III.1 Continuación

FECHA	PPF	Si O ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CO ₃ ⁼ total
19-mayo	35.53	13.44	3.78	2.40	41.22	2.55	0.53	77.24
20-mayo	35.24	13.49	3.76	2.43	41.21	2.57	0.54	76.86
21-mayo	35.33	13.46	3.66	2.48	41.23	2.58	0.56	76.62
22-mayo	35.07	13.52	3.68	2.40	41.25	2.57	0.58	76.62
23-mayo	35.22	13.57	3.77	2.43	41.12	2.56	0.60	76.74
24-mayo	35.22	13.54	3.89	2.55	41.01	2.56	0.52	76.74
25-mayo	35.29	13.48	3.80	2.41	41.21	2.56	0.56	76.94
26-mayo	35.28	13.41	3.67	2.41	41.24	2.58	0.50	77.32
27-mayo	35.32	13.55	3.78	2.42	41.16	2.56	0.56	77.10
28-mayo	35.30	13.60	4.01	2.40	41.21	2.55	0.58	76.86
29-mayo	35.09	13.48	3.94	2.39	41.15	2.57	0.58	76.84
30-mayo	35.34	13.45	3.99	2.49	41.16	2.54	0.46	77.20
31-mayo	35.28	13.44	3.94	2.40	41.11	2.56	0.52	76.70
PROMEDIO	35.35	13.52	3.90	2.47	41.15	2.56	0.53	77.055

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

- Promedio de CO₃⁼ total = 77,055 % (p/p)
- Promedio de óxidos presentes en la harina de alimentación = 64,05 % (p/p)

Tabla III.2 CLINKER PRODUCIDO EN EL HORNO FLS - ANÁLISIS QUÍMICO EN % (p/p) DE FECHA 1 AL 31 DE MAYO DEL 2010

FECHA	PPF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	CAL Lib	TOTAL Clinker
1-mayo	0.30	20.99	5.55	3.52	62.90	3.72	0.53	0.93	1.14	97.51
2-mayo	0.23	20.71	5.38	3.25	63.80	3.77	0.54	0.96	1.78	97.68
3-mayo	0.18	20.61	5.50	3.37	63.89	3.84	0.63	1.01	1.61	98.02
4-mayo	0.25	20.56	5.50	3.29	64.24	3.79	0.56	0.98	1.74	98.19
5-mayo	0.17	20.65	5.49	3.31	63.61	3.52	0.53	1.03	1.67	97.28
6-mayo	0.14	20.63	5.47	3.41	63.66	3.37	0.57	1.09	1.65	97.25
7-mayo	0.17	20.68	5.60	3.51	63.75	3.61	0.54	1.00	1.74	97.86
8-mayo	0.15	20.81	5.45	3.45	63.67	3.63	0.54	0.95	1.22	97.70
9-mayo	0.17	20.66	5.50	3.50	63.67	3.54	0.54	0.99	1.03	97.58
10-mayo	0.21	20.77	5.51	3.39	63.23	3.68	0.69	1.19	1.08	97.48
11-mayo	0.19	20.71	5.49	3.40	64.30	3.62	0.42	0.63	1.23	98.13
12-mayo	0.18	20.54	5.47	3.45	63.73	3.67	0.59	1.00	1.34	97.63
13-mayo	0.15	20.84	5.48	3.33	63.88	3.67	0.56	0.96	1.37	97.91
14-mayo	0.20	20.75	5.40	3.32	64.03	3.55	0.58	1.03	1.71	97.53
15-mayo	0.10	20.85	5.45	3.30	63.37	3.52	0.61	1.02	1.51	97.20
16-mayo	0.17	21.18	5.38	3.36	63.32	3.52	0.59	0.90	1.38	97.52
17-mayo	0.10	20.79	5.47	3.39	63.30	3.46	0.74	1.11	1.33	97.25
18-mayo	0.14	20.68	5.40	3.47	63.85	3.35	0.73	1.06	1.48	97.62
19-mayo	0.15	20.65	5.50	3.38	64.02	3.51	0.70	1.04	1.80	97.91
20-mayo	0.33	20.69	5.52	3.50	63.76	3.59	0.58	0.94	1.31	07.97
21-mayo	0.19	20.88	5.53	3.41	63.43	3.63	0.70	1.04	1.07	97.77
22-mayo	0.18	20.78	5.55	3.63	63.18	3.69	0.65	0.81	0.83	97.66
23-mayo	0.10	20.87	5.44	3.47	63.14	3.67	0.73	0.94	1.00	97.52

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

Tabla III.2 CLINKER PRODUCIDO EN EL HORNO FLS - ANÁLISIS QUÍMICO EN % (p/p) DE FECHA 1 AL 31 DE MAYO DEL 2010

FECHA	PPF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	CAL Lib	TOTAL Clinker
24-mayo	0.15	20.64	5.6	3.58	63.12	3.65	0.69	0.99	1.11	97.43
25-mayo	0.15	20.48	5.52	3.59	63.32	3.56	0.72	1.02	1.13	97.34
26-mayo	0.10	20.54	5.39	3.33	63.60	3.43	0.80	1.07	1.59	97.19
27-mayo	0.12	20.76	5.38	3.37	63.47	3.35	0.76	1.04	1.20	97.21
28-mayo	0.17	20.69	5.53	3.41	63.73	3.46	0.73	1.01	1.26	97.72
29-mayo	0.13	20.64	5.58	3.49	63.51	3.47	0.71	0.96	0.99	97.53
30-mayo	0.16	20.62	5.57	3.51	63.44	3.59	0.79	1.02	1.28	97.68
31-mayo	0.15	20.64	5.63	3.58	63.34	3.57	0.82	1.10	1.28	97.73
PROMEDIO	0.14	20.62	5.52	3.48	63.44	3.51	0.75	1.02	1.23	97.61

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

- Promedio de óxidos presente en el Clinker = 97,61 % (p/p)

Tabla III.3 HARINA CRUDA QUE INGRESA A LA TORRE REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES

P.P.F	SiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CO ₃ ⁼ TOT
34,40	13,20	2,66	1,89	42,92	3,62	0,45	77,00

Fuente: Laboratorio de control de calidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

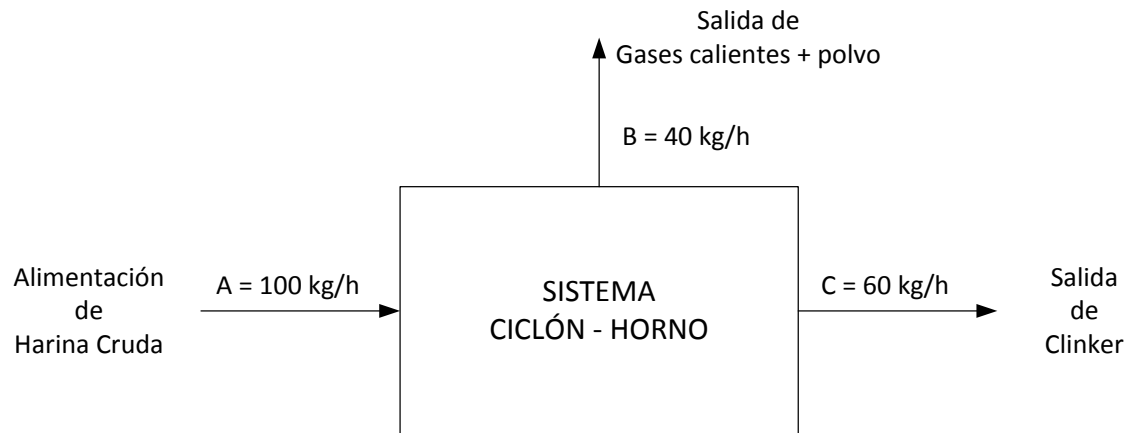
Óxidos presentes en la harina = 64,74 % (P/P)

Considerando que en el interior del ducto no hay proceso con reacción química entonces; el balance de flujo másico queda:

Entrada de harina a la torre de refrigeración = salida de harina de la torre de refrigeración

3.5.2. BALANCE DE MASA EN EL SISTEMA PRE CALENTADOR CICLÓN - HORNO

DIAGRAMA III.1 BALANCE DE MASA EN EL SISTEMA CICLÓN - HORNO
BASE DE CÁLCULO : 100 kg/h



Fuente: Elaboración propia.

Haciendo el balance de masa se tendrá:

Entrada = Salida

Alimentación de harina = Salida de la torre pre calentador (harina+ gases calientes) + Salida de Clinker

Tomando como base de cálculo: 100 kg/h harina cruda en la alimentación se tiene:

$$A = B + C \quad (3.4)$$

Donde:

A = Alimentación de harina cruda al sistema, [kg/h]

B = Salida de harina de la torre pre calentadora + gases calientes residuales que van al refrigerador, [kg/h]

C = Clinker que sale del horno, [kg/h]

Datos:

A = 100 kg.

B = 40 kg.

C = 60 kg.

Reemplazando en ecuación (3.4) se tiene:

100 kg = 40 kg. + 60 kg.

100 kg = 100 kg.

Como 40 kg/h es lo que sale de la torre pre calentador de ciclones, entonces 40 kg/h. es lo que ingresa y sale de la torre. Porque no hay reacción química en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes.

3.6. MONITOREO DE TEMPERATURAS INTERNAS Y EXTERNAS EN LA TORRE REFRIGERADOR DE GASES CALIENTES

Se hizo un monitoreo de temperatura en la superficie externa de los ductos de la torre refrigerador acondicionador de gases calientes, en sus 7 niveles.

Tabla III.4 DATOS OBTENIDOS DE TEMPERATURAS EXTERNAS MEDIDOS CON PIRÓMETRO EN [°C] EN LOS 7 NIVELES DE LA TORRE DE REFRIGERACIÓN DE GASES CALIENTES

N° DE MEDICIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
NIVEL1	°C	158	160	154	103	102	106	109	101	103	102	119
NIEVL2	°C	70	73	74	74	77	79	74	76	77	75	74
NIVEL3	°C	72	70	71	74	73	74	79	72	73	71	72
NIVEL4	°C	75	74	76	73	81	75	73	79	72	73	75
NIVEL5	°C	83	77	78	82	77	79	77	78	80	77	78
NIVEL6	°C	98	90	108	105	91	85	100	87	79	99	94
NIVEL7	°C	153	170	172	161	170	166	157	157	168	166	164
PROMEDIO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96

Fuente: Elaboración propia Mayo del 2010.

Promedio general de temperatura de la cara externa del ducto refrigerador de los 7 niveles = 96°C

$$T_{\text{ex}} = 96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabla III.5 DATOS DE TEMPERATURA INTERNA DE GASES CALIENTES EN LA PARTE INFERIOR DE LA CAMPANA QUE ES LA TEMPERATURA DE ENTRADA AL REFRIGERADOR DE GASES CALIENTES

N° DE MEDICIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
CÚPULA	C°	315	314	314	315	316	319	316	316	312	315	315
CÚPULA	C°	316	317	318	319	320	316	314	312	311	315	315
CÚPULA	C°	312	313	313	315	316	316	316	316	314	314	315

Fuente: Elaboración propia fecha 02/06/2010 a hora 11:51.

La temperatura interna promedio de entrada al refrigerador de gases calientes es:

$$T_{\text{i-entrada}} = 315 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabla III.6 DATOS DE TEMPERATURA INTERNA DE GASES CALIENTES DEL REFRIGERADOR EN EL NIVEL 6 TOMADOS CON SONDA TÉRMICA (A 8.421 METROS DE LA ENTRADA AL REFRIGERADOR)

N° DE MEDICIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
NIVEL6	°C	307	306	305	306	308	304	306	305	302	309	305
NIVEL6	°C	307	310	309	310	311	310	311	310	312	311	310
PROMEDIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	307
TEMPERATURA MEDIDO POR METRO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95
TEMPERATURA EN LOS 8 DUCTOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	261

Fuente: Elaboración propia fecha 02/ 06/2010 a horas 11:51

Promedio general de temperatura interna de gases calientes en el ducto refrigerador del nivel 6 de la serie de 2 lecturas = 307 °C a 8.421m. de altura de la entrada al refrigerador.

$$T_{\text{interna-n=6}} = 307^{\circ}\text{C}$$

Tabla III.7 TEMPERATURA INTERNA DE SALIDA DEL REFRIGERADOR DE GASES CALIENTES

N° DE MEDICIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
TEMPERATURA SALIDA DE GASES CALIENTES	C°	244	234	235	227	236	239	236	241	241	244	237

Fuente: Sala de control de horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A.

Temperatura interna promedio de salida del refrigerador de gases calientes:

$$T_{\text{salida}} = 237^{\circ}\text{C}$$

Tabla III.8 ALIMENTACIÓN DE HARINA AL HORNO FLS Y VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO 400VE14

N° DE MEDICIÓN	ALIMENTACIÓN REAL HORNO FLS	TEMPERATURA ENTRADA AL FILTRO	VELOCIDAD DE ROTACIÓN VENTILADOR DE TIRO
	400HR	400FM01	400VE14
	TM/h	°C	rpm
1	26,0	172	1310
2	26,3	175	1315
3	26,2	171	1315
4	26,1	171	1315
5	26,1	172	1320
6	26,0	172	1310
7	26,1	172	1315
8	26,0	166	1320
9	25,6	171	1320
10	25,7	171	1320
11	26,0	172	1320
12	26,0	174	1320
13	25,7	176	1315
14	26,0	172	1305
15	26,0	173	1305
16	25,7	175	1305
17	25,0	174	1300
18	25,2	175	1315
19	26,0	172	1320
20	26,2	170	1320
21	26,5	169	1325
22	26,6	171	1325
23	26,4	173	1320
24	26,5	173	1325
PROMEDIO	26,0	172	1316

Fuente: Central de horno FLS EL PUENTE SOBOCE S.A. fecha julio del 2010.

Tabla III.9 DATOS OBTENIDOS DE TEMPERATURA AMBIENTE EN LA TORRE

MEDICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TEMPERATURA (°C)	25	30	25	26	23	25	24	23	24	25
PROMEDIO (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25

Fuente: Elaboración propia; fecha Julio del 2010.

3.6.1. DATOS DE TEMPERATURA EXTERNA OBTENIDOS CON TERMÓGRAFO EN EL NIVEL 6 QUE SON DE REFERENCIA PARA LOS DEMÁS NIVELES

NOTA III.1: Como también se puede observar la coloración rojo como caliente y la coloración azulada como frío, que es donde se forma el encostramiento de harina en la pared interna de los ductos.

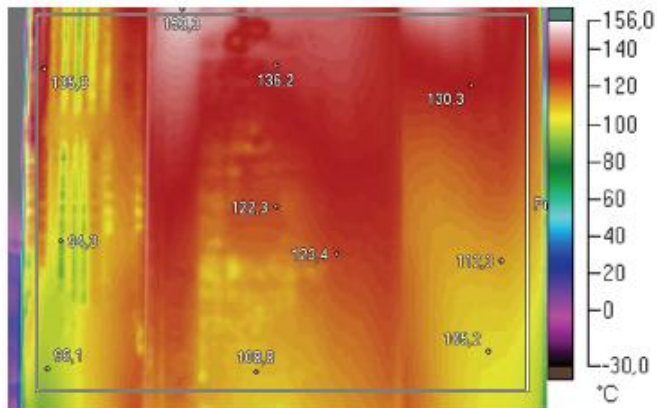
Tablas III.10 DATOS DE TEMPERATURA EXTERNA OBTENIDOS CON TERMÓGRAFO EN EL NIVEL 6 (páginas 67, 68, 69 y 70)

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
A0	116,4°C	79,6°C	154,9° C	0,95	9,84
A1	118,7°C	101,8° C	158,6° C	0,95	14,51
Nombre	Temperatura			Emisividad	
Caliente	170,6°C			0,95	
P0	112,1°C			0,95	
P1	111,2°C			0,95	
P2	114,0°C			0,95	
P3	104,4°C			0,95	
P4	152,4°C			0,95	
P5	138,4°C			0,95	
P6	124,8°C			0,95	
P7	123,4°C			0,95	
P8	118,6°C			0,95	
P9	151,3°C			0,95	
P10	107,6°C			0,95	
P11	137,1°C			0,95	
P12	102,3°C			0,95	
P13	126,7°C			0,95	
P14	104,0°C			0,95	
P15	108,3°C			0,95	



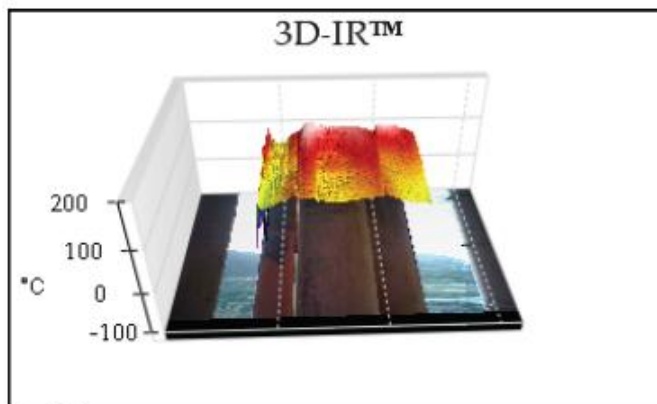
Fuente: Departamento de mecánica y electricidad EL PUENTE SOBOCE S.A.



IR003386.IS2
23/06/2010 14:39:43



Imagen con luz visible

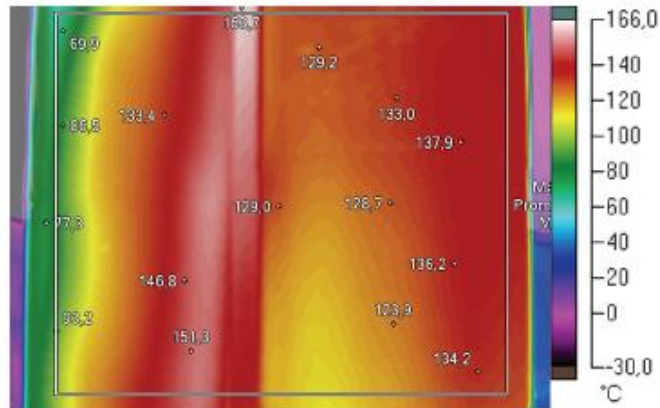


Gráfico

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
A0	120,6°C	87,8° C	152,9° C	0,95	11,11
Nombre	Temperatura			Emisividad	
Punto central	122,3°C			0,95	
Caliente	153,3°C			0,95	
P0	135,8°C			0,95	
P1	136,2°C			0,95	
P2	105,2°C			0,95	
P3	96,1°C			0,95	
P4	130,3°C			0,95	
P5	123,4°C			0,95	
P6	94,3°C			0,95	
P7	112,3°C			0,95	
P8	108,8°C			0,95	

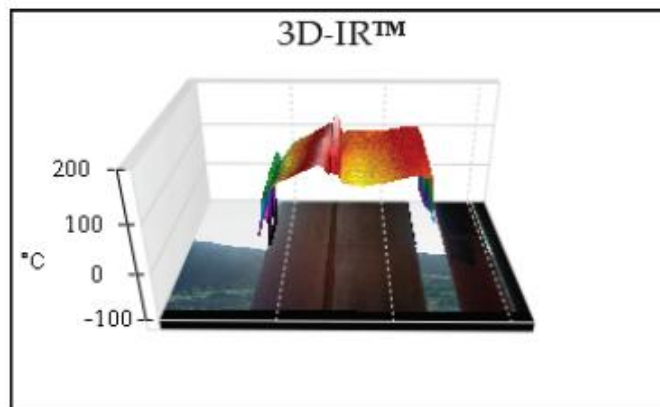
Fuente: Departamento de mecánica y electricidad EL PUENTE SOBOCE S.A.



IR003387.IS2
23/06/2010 14:39:51



Imagen con luz visible



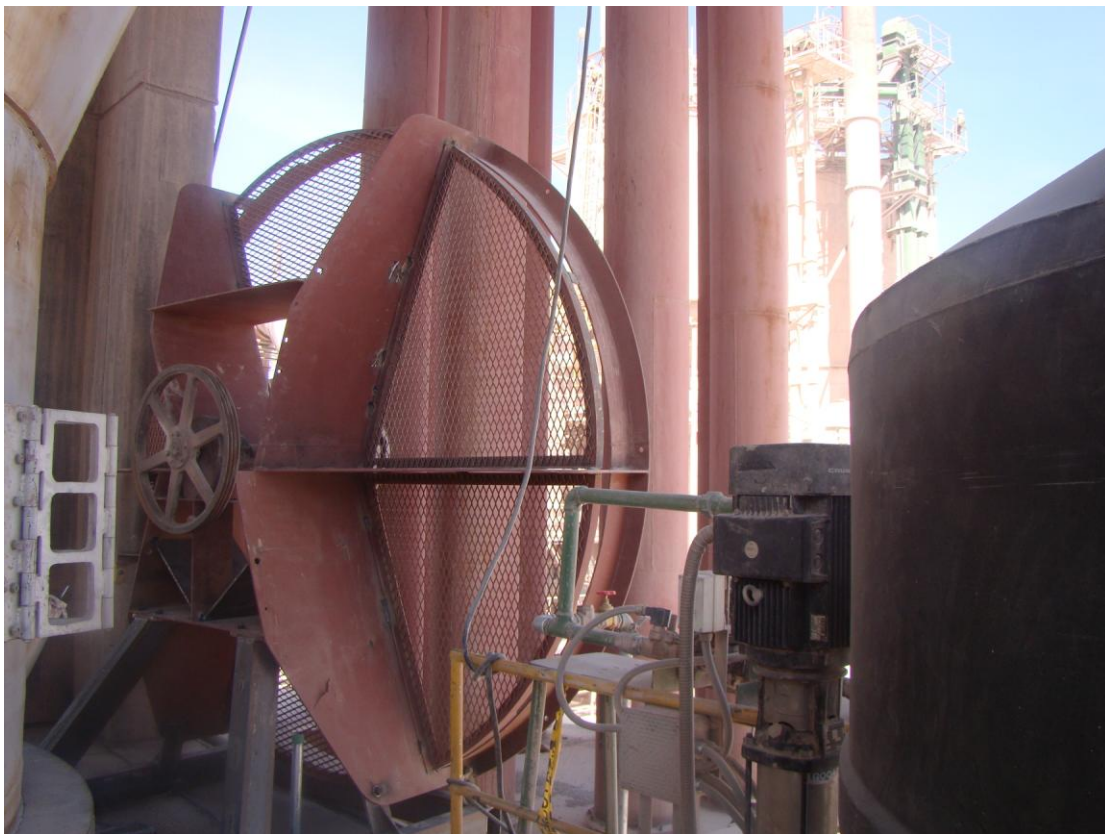
Gráfico

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
A0	129,5°C	62,4° C	163,5° C	0,95	14,50

Fuente: Departamento de mecánica y electricidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

Nombre	Temperatura	Emisividad
Punto central	129,0°C	0,95
Caliente	163,7°C	0,95
P0	69,9°C	0,95
P1	86,5°C	0,95
P2	77,3°C	0,95
P3	93,2°C	0,95
P4	151,3°C	0,95
P5	146,8°C	0,95
P6	133,4°C	0,95
P7	129,2°C	0,95
P8	133,0°C	0,95
P9	128,7°C	0,95
P10	123,9°C	0,95
P11	134,2°C	0,95
P12	136,2°C	0,95
P13	137,9°C	0,95

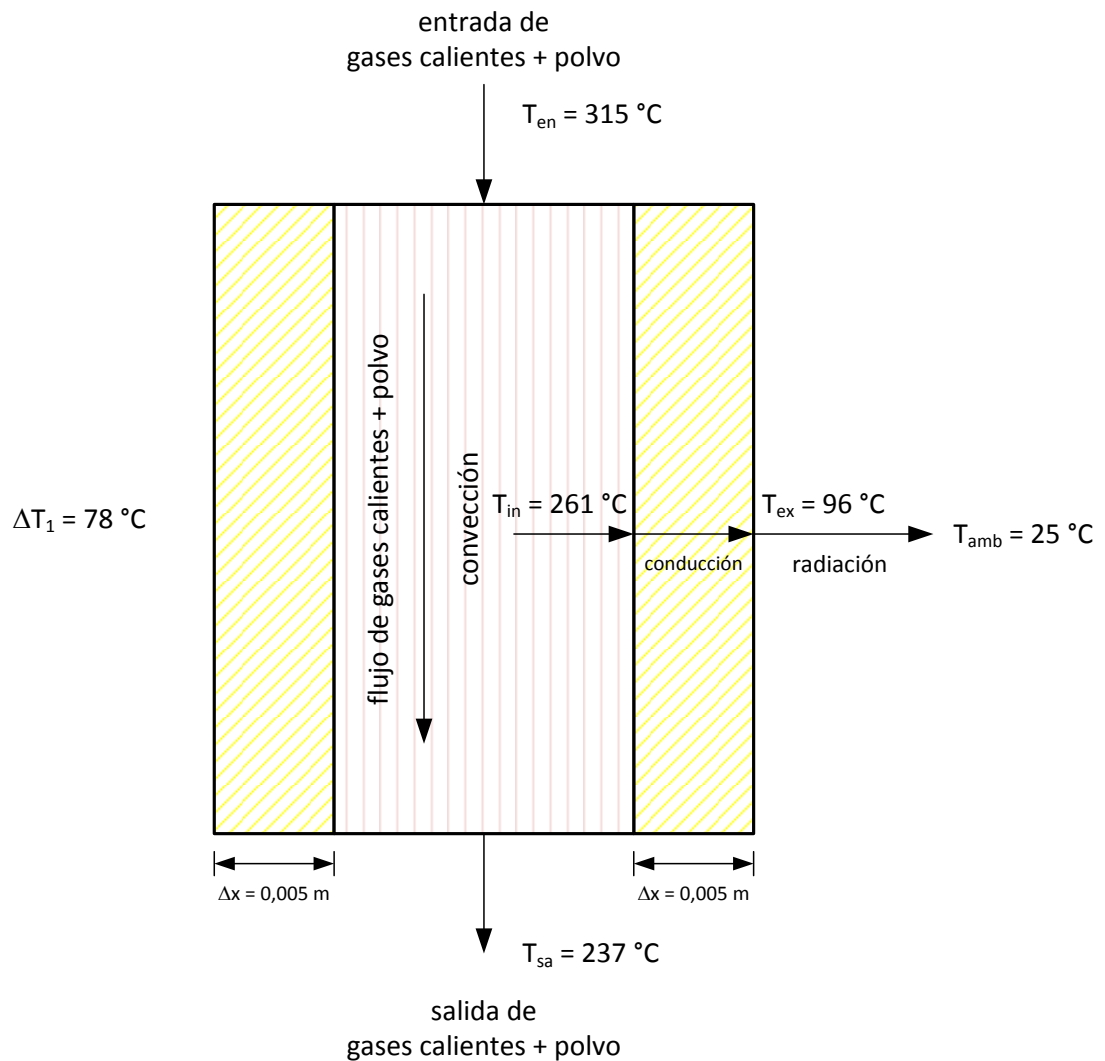


Fuente: Departamento de mecánica y electricidad EL PUENTE SOBOCE S.A.

3.7. BALANCE DE ENERGÍA POR CONVECCIÓN; EN LA TORRE REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES DE LOS 8 DUCTOS, DE ALTURA 34,459 m

El balance de energía total es de acuerdo a los requerimientos de enfriamiento del refrigerador acondicionador de gases calientes en el área total de 433 m². de los 8 ductos de 34.459 m de altura cada uno, se tiene una disminución de temperatura interna de 0,95°C por metro de altura de ducto.

DIAGRAMA III.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN



Fuente: Elaboración propia.

El balance de energía por transferencia de calor en los 8 ductos será:

Entrada = salida

Calor total = Calor por Convección + Calor por Conducción + Calor por Radiación

Entonces la ecuación de balance de energía total en los 8 ductos será:

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{convección}} + Q_{\text{conducción}} + Q_{\text{radiación}} \quad (3.5)$$

Donde:

$Q_{\text{convección}}$ = Calor transferido por convección, [w]

$Q_{\text{conducción}}$ = Calor transferido por conducción, [w]

$Q_{\text{radiación}}$ = Calor transferido por radiación, [w]

3.7.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN, DE LOS GASES CALIENTES EN LOS 8 DUCTOS

Ecuación de transferencia de calor por convección:

$$Q_{\text{conv}} = A * h (T_{\text{en}} - T_{\text{sa}}) \quad (3.6)$$

Donde:

Q_{conv} = Calor total por convección que se transfiere por los gases calientes en los 8 ductos de la columna de 34.459 m de altura de la torre, desde que entran los gases y salen del refrigerador, [w]

A_{total} = Área total de los 8 ductos, [m²]

$A_{\text{total}} = A_1 * N^{\circ} \text{ ductos}$

Donde

A_1 = Área de un ducto; [m²]

$N^{\circ} \text{ ductos} = 8$

$A_{\text{total}} = A_1 * 8$

h = Constante de transferencia de calor por convección, [w/m²°C]

T_{en} = Temperatura de entrada de los gases calientes al refrigerador, [°C]

T_{sa} = Temperatura de salida de los gases calientes del refrigerador, [°C]

Datos:

$h = 65 \text{ w/m}^2\text{C}^\circ$ (valor obtenido de tabla 1-2 Holman pag.29)

$$A_{\text{total}} = 2 \pi r L * 8 \quad (3.7)$$

Donde:

$r = 0.25 \text{ m.}$

$L = 34.459 \text{ m.}$

Remplazando datos en ecuación (3.7) se tiene:

$$A_{\text{total}} = 2 * 3,14159 * 0,25 \text{ m} * 34,459 \text{ m} * 8$$

$$A_{\text{total}} = 433 \text{ m}^2.$$

Datos de temperatura:

$T_{en} = 315 \text{ C}^\circ$ (extraído de la tabla III.5)

$T_{sa} = 237 \text{ C}^\circ$ (extraído de la tabla III.7)

$$\Delta T_1 = 315^\circ\text{C} - 237^\circ\text{C} = 78^\circ\text{C}$$

$\Delta T_1 = 78^\circ\text{C}$ (gradiente de temperatura 1)

Reemplazando datos en ecuación (3.6)

$$Q_{\text{conv}} = 433 \text{ m}^2 * 65 \text{ w/ m}^2\text{C}^\circ (315 - 237) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{conv}} = 2 \ 195 \ 310 \text{ w}$$

$$Q_{\text{conv}} = 2 \ 195 \ \text{kw}$$

3.7.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN, A TRAVÉS DE LA PARED DE LOS 8 DUCTOS

Ecuación de transferencia de calor por conducción:

$$Q_{\text{cond}} = -k * A * (T_{in} - T_{ex})/\Delta X \quad (3.8)$$

Donde:

Q_{cond} = Calor transferido por conducción a través del espesor de los 8 ductos, [w]

K = Conductividad térmica, [w/m°C]

A_{total} = Área total de los 8 ductos del refrigerador, [m²]

T_{in} = Temperatura interna de los 8 ductos, [°C]

T_{ex} = Temperatura externa de los 8 ductos, [°C]

ΔX = Espesor de la chapa de los 8 ductos, [m]

Datos:

$K = 41 \text{ w/ m}^\circ\text{C}$ (dato tomado del apéndice A (pag.589) del libro Holman a $T = 261^\circ\text{C}$)

$T_{in} = 261^\circ\text{C}$ (extraído de la tabla III.6)

$T_{ex} = 96^\circ\text{C}$ (extraído de La tabla III.4)

$\Delta X = 0.005\text{m}$

$A_{total} = 433\text{m}^2$

Remplazando datos en la ecuación (3.8) se tiene:

$$Q_{cond} = -41 \text{ w/ m}^\circ\text{C} * 433\text{m}^2 * (96 - 261)^\circ\text{C}/0,005 \text{ m}$$

$$Q_{cond} = 585849000 \text{ w}$$

$$Q_{cond} = 585849\text{kw}$$

3.7.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN, EN LOS 8 DUCTOS

Ecuación de transferencia de calor, de la cara externa de los ductos hacia el medio ambiente por radiación:

$$Q_{rad} = B A (T_{ex}^4 - T_{amb}^4) \quad (3.9)$$

Donde:

Q_{rad} = Calor transferido por radiación de la pared externa al medio ambiente, [w]

A_{total} = Área total de los 8 ductos, [m²]

B = Constante de proporcionalidad de Boltzman, [w/m²°k⁴]

T_{ex} = Temperatura de la superficie externa de los ductos, [°C]

T_{amb} = Temperatura ambiente en la torre, [°C]

Datos:

$$\epsilon = 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

$$A_{\text{total}} = 433 \text{ m}^2$$

Llevando a grados Kelvin se tiene:

$$T_{\text{ex}} = 96 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K} = 369 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ (extraído de tabla III.4)}$$

$$T_{\text{amb}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K} = 298 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ (extraído de tabla III.8)}$$

Remplazando datos en ecuación (3.9)

$$Q_{\text{rad}} = 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4 * 433 \text{ m}^2 (369^4 - 298^4) \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

$$Q_{\text{rad}} = 261 \text{ 513 kw}$$

$$Q_{\text{rad}} = 261 \text{ kw}$$

El calor total de transferencia desde el interior del ducto hasta el medio ambiente será:

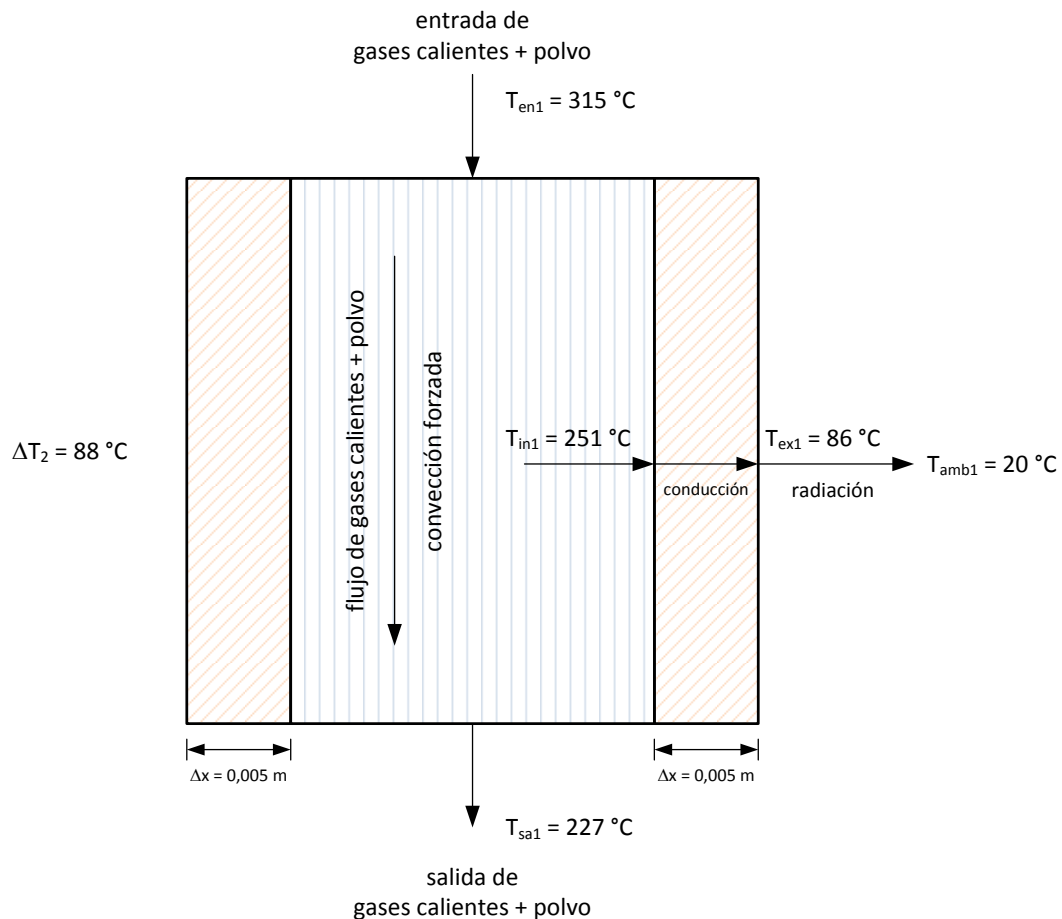
Remplazando datos en ecuación (3.5)

$$Q_{\text{total}} = 2195 \text{ kw} + 585849 \text{ kw} + 261 \text{ kw}$$

$$Q_{\text{total}} = 588305 \text{ kw}$$

3.8. BALANCE DE ENERGÍA EN LA TORRE REFRIGERADOR ACONDICIONADOR DE GASES CALIENTES POR CONVECCIÓN FORZADA, EN LOS 8 DUCTOS, DE ALTURA 34,459 m

DIAGRAMA III.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CON ENFRIAMIENTO POR AIRE FRÍO, CON VENTILADOR DE FLUJO AXIAL



Fuente: Elaboración propia.

Entrada = Salida

Calor total 1 = Calor por convección forzada 1 + calor por conducción 1 + calor por radiación 1

Ecuación general de balance de energía total por convección forzada 1:

$$Q_{total\ 1} = Q_{conv\ forz\ 1} + Q_{cond\ 1} + Q_{rad\ 1} \quad (3.10)$$

Donde:

$Q_{total\ 1}$ = Transferencia de calor total 1, [w]

$Q_{conv\ forz\ 1}$ = Transferencia de calor por convección forzada 1, [w]

$Q_{cond\ 1}$ = Transferencia de calor por conducción 1 en el espesor de los 8 ductos
por enfriamiento externo, [w]

$Q_{rad\ 1}$ = Transferencia de calor por radiación 1 a temperatura de enfriamiento por
ventilador, [w]

3.8.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA 1, DE LOS GASES CALIENTES EN LOS 8 DUCTOS

Ecuación de transferencia de calor por convección forzada 1:

$$Q_{conv\ forz\ 1} = A * h * (T_{en\ 1} - T_{sa\ 1}) \quad (3.11)$$

Donde:

h = Coeficiente de transmisión de calor, [w/m²°C]

A_{total} = Área total de los 8 ductos, [m²]

$T_{en\ 1}$ = Temperatura de entrada 1 de gases calientes al refrigerador, [°C]

$T_{sa\ 1}$ = Temperatura de salida 1 de gases calientes por convección forzada1, [°C]

$T_{sa\ 1}$ = Temperatura de salida 1 actual (°C) – 10°C de temperatura que se quiere
enfriar

$$T_{sa\ 1} = 237^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$$

$$T_{sa\ 1} = 227^{\circ}\text{C}$$

Datos:

$$T_{en\ 1} = 315^{\circ}\text{C} \text{ (extraído de tablaIII.5)}$$

$$T_{sa\ 1} = 227^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 315^{\circ}\text{C} - 227^{\circ}\text{C} = 88^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 88^{\circ}\text{C} \text{ (gradiente de temperatura 2)}$$

$$A_{\text{total}} = 433 \text{ m}^2$$

$$h = 1800 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

Reemplazando datos en ecuación (3.11)

$$Q_{\text{conv forz 1}} = 1800 \text{ w/m}^2\text{°C} * 433 \text{ m}^2 * (315 - 227) \text{ °C}$$

$$Q_{\text{conv forz 1}} = 68\,587\,200 \text{ w}$$

$$Q_{\text{conv forz 1}} = 68\,587 \text{ kw}$$

3.8.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN 1; POR ENFRIAMIENTO DE 10°C, EN LA PARED EXTERNA DE LOS 8 DUCTOS.

Ecuación de transferencia de calor por conducción por enfriamiento de 10°C:

$$Q_{\text{cond 1}} = -k * A (T_{\text{int 1}} - T_{\text{ex 1}}) / \Delta X \quad (3.12)$$

Donde:

k = Conductividad térmica, [$\text{w/m}^2\text{°C}$]

A = Área total de los 8 ductos, [m^2]

$T_{\text{int 1}}$ = Temperatura interna actual de los gases calientes (°C) -10°C de temperatura que se quiere enfriar.

$$T_{\text{int 1}} = 261\text{°C} - 10\text{°C}$$

$$T_{\text{int 1}} = 251\text{°C}$$

$T_{\text{ex 1}}$ = Temperatura externa actual, (°C) – 10°C de temperatura que se quiere enfriar

$T = 96\text{°C}$ (extraído de la tabla III.4)

$$T_{\text{ex 1}} = 96\text{°C} - 10\text{°C}$$

$$T_{\text{ex 1}} = 86\text{°C}$$

ΔX = Espesor de la chapa de acero de los 8 ductos, [m]

Datos:

$$K = 41[\text{w/m}^2\text{°C}]$$

$$A_{\text{total}} = 433\text{m}^2$$

$$T_{\text{int } 1} = 251^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ex } 1} = 86^\circ\text{C}$$

$$\Delta X = 0,005 \text{ m}$$

Remplazando datos en la ecuación (3.12) se tiene:

$$Q_{\text{cond } 1} = - 41 \text{ w/m}^\circ\text{C} * 433 \text{ m}^2 * (86 - 251) ^\circ\text{C} / 0,005 \text{ m.}$$

$$Q_{\text{cond } 1} = 585 \ 849 \ 000 \text{ w}$$

$$Q_{\text{cond } 1} = 585 \ 849 \ \text{kw}$$

3.8.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN 1; CON AIRE FRIO A 20°C, POR EL VENTILADOR EN LOS 8 DUCTOS

Ecuación de transferencia de calor por radiación de la cara externa de los 8 ductos hacia el medio ambiente por enfriamiento de aire del ventilador a 20°C:

$$Q_{\text{rad } 1} = B * A * (T_{\text{ex } 1} - T_{\text{amb } 1}) \quad (3.13)$$

Donde:

B = Constante de proporcionalidad de Boltzman, $[\text{w/m}^2\text{K}^4]$

A_{total} = Área total de los 8 ductos, $[\text{m}^2]$

$T_{\text{ex } 1}$ = Temperatura externa actual de los 8 ductos ($^\circ\text{C}$) – 10 $^\circ\text{C}$ por enfriamiento del ventilador

$$T_{\text{ex } 1} = 96^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ex } 1} = 86^\circ\text{C}$$

$T_{\text{amb } 1}$ = Temperatura ambiente 1 del aire frío proporcionado por el ventilador, que es de 20°C (dato de referencia de ventiladores Humboldt pág.29)

Datos:

$$B = 5.669 * 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$T_{\text{ex } 1} = 86^\circ\text{C}$$

Llevando a grados Kelvin se tiene:

$$T_{ex\ 1} = 86^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K}$$

$$T_{ex\ 1} = 359^{\circ}\text{K}$$

$$T_{amb\ 1} = 20^{\circ}\text{C}$$

Llevando a grados Kelvin se tiene:

$$T_{amb\ 1} = 20^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K}$$

$$T_{amb\ 1} = 293^{\circ}\text{K}$$

$$A_{total} = 433\ \text{m}^2$$

Remplazando datos en ecuación (3.13)

$$Q_{rad\ 1} = 5,669 \cdot 10^{-8}\ \text{w/m}^2\text{K}^4 * 433\text{m}^2 (359^4 - 293^4)\ \text{K}^4$$

$$Q_{rad\ 1} = 226\ 818\ \text{w}$$

$$Q_{rad\ 1} = 226\ \text{kw}$$

El calor total de transferencia por convección forzada 1 será:

Remplazando datos en ecuación (3.10)

$$Q_{total\ 1} = 68\ 587\ \text{kw} + 585\ 849\ \text{kw} + 226\ \text{kw}$$

$$Q_{total\ 1} = 654662\ \text{kw}$$

Ecuación de transferencia de calor por diferencia de convección forzada 1 y convección:

$$Q_{total\ transferido} = Q_{total\ conv\ forzada\ 1} - Q_{total\ conv} \quad (3.14)$$

Donde:

$Q_{total\ transferido}$ = Transferencia de calor total por diferencia de convección total forzada 1 y convección total, [w]

$Q_{total\ conv\ forzada\ 1}$ = Transferencia de calor por convección forzada 1 por aire frío de flujo axial en los 8 ductos, [w]

$Q_{total\ conv}$ = Transferencia de calor total por convección en los 8 ductos, [w]

Remplazando datos en ecuación (3.14) se tiene:

$$Q_{\text{total transferido}} = 654\,662 \text{ kw} - 588\,305 \text{ kw}$$

$$Q_{\text{total transferido}} = 66\,357 \text{ kw}$$

3.9. DIMENSIONAMIENTO TÉCNICO PARA UN VENTILADOR

Consideraciones:

- * Se requiere que tenga un elevado caudal de flujo de aire del ventilador, pero que tenga una presión mediana.
- * Entrada y salida de aire del ventilador por flujo axial.
- * Ventilador de presión mediana de 2 a 8 kg/m². (200 mm. a 800 mmH₂O); Ventiladores (Humboldt, pag.6).
- * Factor de compresibilidad del aire = 1 porque no hay compresión de aire solo hay entrada y salida (dato de referencia ventiladores Humboldt).
- * Velocidad de salida de aire del ventilador: 20 a 40m/s (Ventiladores, Humboldt).
- * Carcasa del ventilador: de tipo tubo – axial.
- * Energía transferida al aire por el ventilador en forma de energía cinética.
- * Parte de la energía cinética se transforma en energía potencial por medio de los alabes.
- * **Área total del interior del ventilador:**

$$A_{\text{total 1}} = 2 \Pi r^2 \tag{3.15}$$

Donde:

r = Radio interno del ventilador, [m]

$$r = 1,465 \text{ m}$$

Remplazando datos en ecuación (3.15) se tiene:

$$A_{\text{total 1}} = 2 * 3,141592 * 1,465^2 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total 1}} = 13,48 \text{ m}^2$$

Flujo volumétrico de salida de aire del ventilador

$$q = v * A \quad (3.16)$$

Donde:

q = Flujo volumétrico de aire proporcionado por el ventilador, [m³]

v = Velocidad de salida del aire del ventilador, [m/s]

A_{total1} = Área total interna del ventilador, [m²]

Remplazando datos en ecuación (3.16) se tiene:

$$q = 20 \text{ m/s} * 13,48\text{m}^2$$

$$q = 269,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

* Factor de compresibilidad del aire $K= 1$, debido a que no hay compresión de aire

*** Primera consideración:**

*** Potencia de salida del ventilador para 20 m/s y 8kg/m² de presión**

Ecuación de potencia de salida de ventilador (Ventiladores Humboldt pág.83)

$$P = q * p * K/6,356 \quad (3.17)$$

Donde:

P = Potencia de salida, [Hp)

q = flujo volumétrico, [m³/s]

K = Factor de compresibilidad

Remplazando datos en ecuación (3.17)

$$P = 269,6 \text{ m}^3/\text{s} * 8 \text{ kg/m}^2 * 1/ 6,356$$

$$P = 339 \text{ kgm/s.}$$

$$P = 339 \text{ Km/s} * 1\text{Hp}/76,04 \text{ kg/s.}$$

$$P = 4,46 \text{ Hp}$$

$$P = 4,46 \text{ Hp} * 8$$

$$P = 35,66 \text{ Hp}$$

$$P = 35,66 \text{ HP} * 0,74 \text{ kw/HP}$$

$$P = 26 \text{ Kw}$$

* Segunda consideración:

* Nuevo cálculo de potencia de salida del ventilador para 40 m/s y 8 kg/m². de presión:

Remplazando datos en ecuación (3.16) se tiene:

$$q = 40 \text{ m/s} * 13,48 \text{ m}^2.$$

$$q = 539,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Remplazando datos en ecuación (3.17) se tendrá:

$$P = 539,2 \text{ m}^3/\text{s} * 8 \text{ kg/m}^2 * 1/6,356$$

$$P = 678,66 \text{ kgm/s}$$

$$P = 678,66 \text{ kgm/s} * 1 \text{ Hp}/76,04 \text{ kgm/s}$$

$$P = 8,92 \text{ Hp}$$

$$P = 8,92 \text{ Hp} * 8$$

$$P = 71 \text{ Hp}$$

$$P = 71 \text{ HP} * 0,74 \text{ kw/HP}$$

$$P = 53 \text{ kw}$$

PARTES DE UN VENTILADOR

- * Carcasa
- * Placa trasera
- * Motor eléctrico
- * Rodete
- * Ducto de salida
- * Brida de entrada

3.10. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE UN VENTILADOR

- Material de acero, la cubierta y soportes
- Material de los alabes: Aluminio
- Diámetro exterior de la cubierta del ventilador, 3.11 m.
- Altura del marco de la cubierta de ventilador, 9,0 cm.
- Diámetro interno de la cubierta del ventilador 2,93 m.
- Velocidad de rotación máxima, 1500 rpm
- N° = Alabes de aluminio total 4, con las siguientes dimensiones:
Longitud, 1,41 m. espesor, 1,5 cm. en el centro y los bordes de espesor 1cm.
ancho 20cm, Tipo Helicoidal
- Potencia de salida de ventilador 36 a 71HP
- Potencia del motor 26 – 53 kw
- Presión mediana, 2 – 8 kg/m².
- Velocidad de salida del aire del ventilador, 20 - 40 m/s
- Flujo volumétrico de salida del ventilador, 269 a 539m³/s
- Temperatura de salida de aire del ventilador, 20°C
- Factor de compresibilidad = 1 (dato de referencia Ventiladores Humboldt)
- Ventilador de tipo tubo – axial.

Total de ventiladores 3 para los niveles 4, 5 y 6.

3.11. RELACIONES DE OPERACIÓN PARA OBTENER LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL HORNO FLS

Datos:

$$\Delta T_1 = 78^\circ\text{C} \text{ [dato obtenido de subtítulo (3.8.1)]}$$

$$\Delta T_2 = 88^\circ\text{C} \text{ [dato obtenido de subtítulo (3.8.2)]}$$

Promedio de alimentación actual al horno FLS = 26t/h. (dato extraído de tabla III.8)

Velocidad de rotación promedio actual del ventilador de tiro inducido 400VE14 = 1316 rpm. (dato extraído de tabla III.8)

Correlaciones: X = Nueva alimentación promedio al horno FLS, [t/h].

Y = Nueva velocidad promedio de rotación del ventilador de tiro inducido 400VE14, [rpm]

78°C _____ 26t/h

88°C _____ X

X = 29 t/h

78°C _____ 1316 rpm

88°C _____ Y

Y = 1 484 rpm

3.12. EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS PARA EL PROYECTO

- * Torre de enfriamiento de ocho tubos que bifurcan en una sola entrada y salida
- * Diferentes pirómetros con luz roja para medir la temperatura a larga distancia
- * Termógrafo
- * Ventilador de gases calientes de TIRO INDUCIDO 400VE14
- * Ventilador de gases de chimenea de TIRO INDUCIDO 400VF01
- * Filtro de mangas para retención de polvos 400FM01
- * Cuatro ciclones en serie vertical 400CT01, 400CT02, 400CT03 Y 400CT04
- * Horno de Clinkerización 400HR
- * Enfriador de Clinker COOLER 400EN
- * Laboratorio de química: ANALIZADOR QUÍMICO XRF
- * Balanza analítica
- * Prensa hidráulica
- * Mufla de calcinación hasta 600 °C

* Laboratorio de física: PRENSA HIDRÁULICA; [Mp]

* Termómetro de 200 °C

* Cámara de enfriamiento a 20 °C

3.13. ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se basa en la inversión de capital monetario que forma parte de la implementación de nuevos equipos para incrementar la producción de Clinker.

3.13.1. PLAN DE INVERSIÓN

El presupuesto de inversión y el detalle de equipos necesarios para implementar el sistema de refrigeración con aire frío de flujo axial con tres unidades de ventiladores, en los siguientes cuadros se describe en detalle la inversión de los elementos físicos de tres ventiladores, motor, costo de la corriente eléctrica y mano de obra.

Tabla III.11 INVERSIÓN EN MATERIALES PARA TRES VENTILADORES Y MOTORES

ÍTEM	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN EN Bs
0-1	1	Fabricación de soportes y montado de ventilador	3 600
0-2	1	Fabricación de soportes y montado de ventilador	3 600
0-3	1	Fabricación de soportes y montado	3 600
0-4	11	Barras de perfil u de 6p*2*1/4	13 750
0-5	5	Kilogramos de electro 7018	100
0-6	6	Discos de corte	120
0-7	3	Motor para ventilador de 71 hp	42 420
0-8	12	Alabes aluminio	1 200
TOTAL		TOTAL Bs	68 390 Bs
		TOTAL US	9 673 US

Fuente: EMPRESA MULTISERVICIOS INDUSTRIALES TARIJA

Total de días hábiles de trabajo de mano de obra en construcción 20 días.

Tabla III.12 PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE MANO DE OBRA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO MT	ALTURA MT	N° DE PARTES	INVERSIÓN EN BS
0-1	Ensamblado y pintado del ventilador	3,2	1	1	4 600
0-2	Ensamblado y pintado del Ventilador	3,2	1	1	4 600
0-3	Ensamblado	3,2	1	1	4 600
	TOTAL			TOTAL \$Bs TOTAL \$Us	13 800 1 952

Fuente: EMPRESA MULTISERVICIOS TARIJA

SERVICIOS AUXILIARES

Tabla III.13 COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO EN \$Us	COSTO EN Bs
0 - 1	Consumo KW/h	0,70	5

Fuente: Departamento de mantenimiento mecánico y eléctrico EL PUENTE SOBOCE S.A.

Tabla III.14 TOTAL DE INVERSIÓN EN MATERIALES Y MANO DE OBRA

DETALLE	IVERSIÓN EN MATERIALES Y MOTORES	PRESTACIÓN DE MANO DE OBRA	TOTAL DE INVERSIÓN EN MATERIALES Y MANO DE OBRA
TOTAL \$Bs	68 390	13 800	82 190
TOTAL \$Us	9 673	1 952	11 625

TOTAL DE INVERSIÓN = 11 625 \$Us

COSTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA = 0,70 \$Us/kwh

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente no se cuenta con datos técnicos para implementar este sistema de enfriamiento con aire frío, como ser: presión de salida de aire del ventilador, temperatura de salida de aire del ventilador, potencia del motor del ventilador por lo que el proyecto plantea conocer la cantidad de calor transferido por convección forzada en toda la torre.

Los resultados obtenidos por monitoreo, cálculo en todo el proyecto y operaciones adicionales se resumen de la siguiente forma: gradiente de temperatura en la torre refrigerador, balance de masa, balance de energía en la torre, dimensionamiento de ventilador e implementación del nuevo sistema de enfriamiento se detallan a continuación.

Cuadro IV.1 Descripción de resultados técnicos actuales y nuevos datos de implementación, con el sistema de refrigeración por convección forzada.

DESCRIPCIÓN	DATOS ACTUALES DE OPERACIÓN	NUEVOS DATOS PARA IMPLEMENTAR	RESULTADO
Gradiente de temperatura en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes.	$T_{en} = 315^{\circ}\text{C}$ $T_{sa} = 237^{\circ}\text{C}$ $\Delta T_1 = 78^{\circ}\text{C}$	$T_{en1} = 315^{\circ}\text{C}$ $T_{sa2} = 227^{\circ}\text{C}$ $\Delta T_2 = 88^{\circ}\text{C}$	Se enfría 10°C por debajo de la temperatura actual por enfriamiento por convección forzada.
Temperatura de operación de filtro de mangas 400FM01.	$170 - 179^{\circ}\text{C} = 9^{\circ}\text{C}$	$160 - 179^{\circ}\text{C} = 19^{\circ}\text{C}$	Se incrementa el rango de operación de temperatura de entrada al filtro de mangas 400FM01.
Transferencia de calor total.	588 305 kw Por convección Natural.	654 662kw Por convección forzada.	66 357 kw Calor transferido.
Alimentación Promedio de harina	26 t/h	29 t/h	Incremento de alimentación de harina un 10.3%.
Producción promedio de Clinker	385 t/d	430 t/d	Incremento de la producción de Clinker un 10.4%
Velocidad de rotación promedio del ventilador de tiro inducido 400VE14.	1 316 rpm	1 484 rpm	Incremento 11% promedio de la velocidad de rotación del ventilador de tiro inducido 400VE14.
Ventiladores de aire frío tubo- axiales.	No existe	3 ventiladores de aire frío en los niveles 4 ,5 y 6.	Con la implementación de los ventiladores, se optimiza la temperatura en la torre de refrigeración de gases calientes.
Temperatura de salida del aire de los 3 ventiladores.	No existe	20°C	Temperatura recomendable.
Velocidad de salida del aire de los 3 ventiladores.	No existe	20 - 40 m/s	Rango de velocidad operable.
Presión de salida de los 3 ventiladores.	No existe	2 - 8 kg/m^2 . mediana	Mediana presión, pero gran flujo volumétrico de aire.
Potencia de cada uno de los 3 motores de los ventiladores.	No existe	26 - 53 kw	Rango de operación recomendado de cada motor del Ventilado.

4.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones finales son las siguientes:

- Se requieren tres ventiladores de aire frío de flujo axial cada uno con las especificaciones anteriormente descritas en el cuadro IV.1 para ser implementados en los niveles 4, 5 y 6.
- Se requiere enfriar 10 °C por debajo de la temperatura de salida actual en todo el refrigerador acondicionador de gases calientes, desde la entrada a la salida de los gases calientes para aumentar la alimentación de harina cruda de 26 a 29 t/h al Horno de Clinkerización y un incremento de la producción de Clinker de 385 a 430 t/d
- Se requiere que cada ventilador tenga un rango de potencia de entre 26 a 53 kw, una velocidad del aire de 20 a 40 m/s, una presión de 2 a 8 kg/m². y la temperatura de salida del aire del ventilador, 20 °C.

4.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe tener cuidado de no enfriar más de 10 °C porque existe la posibilidad de que los gases calientes sean retenidos parcialmente en los ductos de los niveles de enfriamiento 4, 5 y 6 comenzando a ascender hacia arriba, causando obstrucción y encostramiento en los mismos.
- ✓ Se debe tener siempre el flujo normal de los gases calientes en los ductos para evitar el encostramiento de la harina en las paredes de los ductos de los niveles 4,5 y 6 donde serán instalados los ventiladores.
- ✓ Se recomienda que la presión de entrada de aire a los ventiladores del ambiente sea normal. Porque si se aumenta la presión de entrada puede absorber el aire caliente de los ciclones que están a corta distancia y no provocar enfriamiento en la torre acondicionador de gases calientes.